This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

600026846W

PRESS T. 4.
SHELF S.
No 1a

C

16621 d. 16/1

METHODIK

DER

PHYSIOLOGISCHEN

EXPERIMENTE UND VIVISECTIONEN

VON

E. CYON.

MIT ATLAS.

GIESSEN,
J. RICKER'SCHE BUCHHANDLUNG.
1876.

ST. PETERSBURG,
CARL RICKER.

Verfasser und Verleger behalten sich das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen vor.

Druck von Hundertstund & Price in Leipzig.

SEINEM

LEHRER UND FREUNDE

CARL LUDWIG

IN DANKBARKEIT UND VEREHRUNG

ZUGEEIGNET

VOM VERFASSER.

VORREDE.

In der Entwickelung einer wesentlichen experimentellen Wissenschaft, wie die Physiologie es zur Zeit ist, spielt die Methodik der Experimente eine so hervorragende Rolle, dass ein Werk, welches die von den Physiologen angewandten Verfahrungsweisen zusammenstellt, gewiss nicht unnöthig erscheinen wird. Bei der grossen Zahl von Methoden und Instrumenten, mit Hilfe deren seit einigen Jahrzehnten die Lebenserscheinungen erforscht und dargestellt werden, ist es nur zu natürlich, dass in keiner Lehranstalt alle vorhandenen Mittel gleichzeitig in Gebrauch sind, und dass nur wenige derselben in den Lehrbüchern Aufnahme finden können.

Die Herausgabe einer physiologischen Methodik dürfte im gegenwärtigen Augenblicke um so mehr erwünscht sein, da an vielen Orten neue physiologische Anstalten entstehen, bei deren Einrichtung ein Ueberblick über das gesammte Material die Auswahl des Anzuschaffenden sehr erleichtert. Bei der Bedeutung, welche die wissenschaftlichen Pathologen den physiologischen Untersuchungsweisen beimessen, dürfte auch in diesem Kreise das Buch Beachtung finden. Einzelne Abtheilungen möchten sogar dem praktischen Arzte, welcher die Symptome der Krankheiten zu messen oder objectiv darzustellen bestrebt ist, als Rathgeber dienen können. Aus diesen Gründen sind die Abbildungen und die Beschreibungen der Apparate so gehalten, dass sie auch von Nicht-Physiologen ohne Schwierigkeiten benutzt werden können.

Die ganz ungewöhnliche Ausdehnung der physiologischen Literatur, sowie die Zerstreutheit der Angaben über die verwendeten Methoden, erschweren in hohem Grade deren erschöpfende Darstellung. Die Autoren haben auch nicht immer ihre Methoden ausführlich genug beschrieben, um eine richtige Beurtheilung und

Wiedergabe derselben zu ermöglichen. Besonders selten sind genaue Beschreibungen der Operationsverfahren bei Vivisectionen. So sehr ich auch bemüht war, alles darüber vorhandene Material auszubeuten, so war ich doch in dieser Hinsicht nur zu oft auf eigene Erfahrungen beschränkt. Die Technik der Vivisectionen wäre gewiss schon jetzt viel weiter vorgeschritten und ihre hier gegebene Darstellung wäre auch viel reichhaltiger und belehrender ausgefallen, wenn die Vivisectoren, dem Beispiele der Chirurgen folgend, ihre Operationsmethoden immer genau beschrieben hätten.

Nicht geringere Schwierigkeiten bietet auch eine vollständige Wiedergabe des reichhaltigen Instrumentalschatzes der Physiologie. Hieraus eine richtige Auswahl zu treffen, ist ohne eigene Controle unmöglich. Wo es anging, suchte ich daher durch Vergleichung und Erprobung der Apparate mir ein Urtheil über deren Werth zu bilden. Die Wichtigeren sind hier in den verschiedenen Einrichtungen neben einander gestellt worden, damit der Leser selbst seine Wahl treffen kann.

Bei den Apparaten, welche in der physiologischen Methodik eine hervorragende Rolle gespielt haben, sind aus historischem Interesse deren ursprüngliche Einrichtungen wiedergegeben worden, wenngleich sie jetzt aus dem Gebrauche gekommen sind. Durch eine unparteiische Beschreibung der wesentlichsten Apparate und Vorrichtungen suchte ich allen Fachgenossen gerecht zu werden; und sollte ich das Eine oder das Andere übergangen haben, so geschah dies gewiss nur, weil ich mich ausser Stande fühlte, die ganze physiologische Literatur zu beherrschen.

Für mich persönlich waren die Schwierigkeiten, die aus dem letzteren Umstande auch jedem Anderen erwachsen sein würden, besonders gross, weil ich einen Theil des Werkes getrennt von den Hilfsmitteln bearbeiten musste, die ich bei der Einrichtung einer physiologischen Anstalt in der medicinischen Akademie sorgfältig angehäuft habe. Die widerwärtigen, von unsauberen Leidenschaften und blindem Fanatismus vorbereiteten Ereignisse, die sich unlängst in dieser Akademie abgespielt haben, verhinderten mich daran, viele der getroffenen Einrichtungen dieser Anstalt im Interesse dieses Werkes zu verwerthen.

Der Schluss dieses Werkes, die Methoden zur Physiologie der Sinnesorgane und der Psychophysik enthaltend, wird hoffentlich im Anfange des nächsten Jahres erscheinen. Der für diesen letzten Theil erforderliche Atlas ist, Dank der

gütigen Willfährigkeit des Herrn Professor Helmholtz, welcher dazu einen Theil der Clichés aus seiner physiologischen Optik überlassen hat, schon der Vollendung nahe.

Ueber den Plan und die Ausführung dieses Werkes sollen noch einige Worte gesagt werden. In der Eintheilung des Buches blieb ich bei der von den meisten physiologischen Lehrern in ihren Vorträgen eingehaltenen Reihenfolge; ich glaubte dieser Anordnung um so eher den Vorzug geben zu können, als ich überall bemüht war, den nothwendigsten Vorlesungsversuchen den gebührenden Platz einzuräumen.

Die Anatomie des Hundes, des Kaninchens und des Frosches habe ich sowohl nach schon vorhandenen Abbildungen, als nach neuen Präparaten so vollständig zu geben versucht, als es für die gangbarsten Vivisectionen erforderlich ist. Es lag in meiner Absicht, auch die Anatomie des Pferdes und einiger anderer Vivisectionsthiere in derselben Ausdehnung zu geben, sowie auch noch mehrere neue Präparate vom Hunde und Kaninchen abbilden zu lassen; durch die Nothwendigkeit, im Auslande das Werk zu Ende zu führen, wurde ich daran verhindert.

Die Methoden der physiologisch-chemischen Untersuchungen habe ich ganz aus dem Buche weggelassen, weil die speciellen Lehrbücher mit voller Competenz diese Methoden behandeln und ihrem Zwecke auch vollkommen Genüge leisten.

Wenn die vorhandenen ausgezeichneten Handbücher der physikalischen Technik auch meistens erschöpfend den Gebrauch der physikalischen Apparate beschreiben, so hielt ich es dennoch für nothwendig, bei denjenigen dieser Apparate, welche in der Physiologie eine besondere Vervollkommnung oder ganz specielle Einrichtungen erfahren haben, deren Handhabung ausführlich zu erläutern. Dem Zwecke einer physiologischen Methodik habe ich es entsprechend gehalten, bei der Beschreibung der für Vivisectionen nothwendigen Handgriffe die elementaren Regeln zu geben, die der Anfänger nicht entbehren kann; ich habe es dagegen unterlassen, den einzelnen Abschnitten allgemeine physikalische Einleitungen vorauszuschicken. Wer physiologische Versuche anstellen will, der muss sich schon genügende physikalische Vorbildung angeeignet haben.

Die Tafeln, welche der zu diesem Bande gehörige Atlas enthält, sind mit Ausnahme von zweien (XXXVI und LIV) sämmtlich neu geschnitten worden. Mehr als die Hälfte der auf denselben abgebildeten Instrumente und anatomischen Präparate ist zum ersten Mal gezeichnet worden. In der Herstellung der Tafeln

sind mir die Herren Verleger mit einer Liberalität entgegengekommen, die ich mich für verpflichtet halte, hier dankend anzuerkennen.

Den verehrten Collegen, welche durch Zusendung von Notizen und Zeichnungen, sowie durch Ueberlassung von Clichés dem unternommenen Werke ihr Wohlwollen bekundet haben, sage ich hier meinen tiefgefühlten Dank. An den betreffenden Stellen sind diese Zusendungen besonders erwähnt.

Ich bin mir wohl bewusst, dass dieses Werk, welches ohne jedes Vorbild geschrieben werden musste, manche Lücke enthält. Mehrere dieser Lücken sind mir später selbst aufgefallen; auf andere hoffe ich von erfahreneren Collegen aufmerksam gemacht zu werden, und werde sie bei den Nachträgen, die ich von Zeit zu Zeit herauszugeben beabsichtige, auszufüllen suchen.

Der sachkundige Fachgenosse wird die vielfachen Schwierigkeiten eines solchen Unternehmens bei dessen Beurtheilung zu würdigen wissen.

Leipzig, September 1875.

E. Cyon.

Anmerkung: Vor Benutzung des Buches wolle man die auf Seite 566 angeführten Berichtigungen in den Text einzeichnen.

INHALT.

Seite

Vorrede . . . . . V—VIII

Erstes Capitel.

Allgemeine Versuchsregeln.

§. I. Zweck der physiologischen Versuche 1
§. II. Physicalische Apparate bei physiologischen Versuchen 3
§. III. Die graphische Methode 5
§. IV. Vivisectionen 8
§. V. Untersuchung der vom Organismus getrennten Organe 16
§. VI. Wahl des Versuchsthieres 23
§. VII. Aufbewahrung und Fütterung der Versuchsthiere 28
§. VIII. Befestigungsweisen der Versuchsthiere 31
§. IX. Hautschnitte. Allgemeine Präparationsregel. Unterbindung von Gefässen. . 39
§. X. Section der operirten Thiere. Anlegung von Näthen 44
§. XI. Einführung von Canülen. Einspritzungen 48
§. XII. Narkotisation der Thiere 52
§. XIII. Methoden der künstlichen Respiration 59
Bibliographie zu Capitel I. 67

Zweites Capitel.

Haemodynamik.

§. I. Hydraulische Versuche für Vorlesungen 69
§. II. Formveränderungen und Ortsbewegungen des Herzens 86
§. III. Herztöne. Herzklappen 99
§. IV. Messungsmethoden des Blutdruckes. Manometrie 100
§. V. Prüfung des Manometers 109
§. VI. Verwerthung der erhaltenen Curven. Planimetrie 122
§ VII. Rotirende Cylinder. Vorrichtungen zur Controle der Gleichmässigkeit ihrer Bewegung 125

Seite

§. VIII. Manometer für Froschherzen 134
§. IX. Die Messungsmethoden der Geschwindigkeit der Blutbewegung 143
§. X. Methoden zur Beobachtung des Pulses. Sphygmographie und Sphygmoskopie . 155
§. XI. Versuche über die Herzganglien 166
Tabelle der Herzgifte nach ihren Wirkungen geordnet 169
Herzgifte 171
§. XII. Versuche über die Herznerven 171
§. XIII. Versuche über Gefässnerven 184
§. XIV. Reflexe der sensiblen Nerven auf die vasomotorischen. Beobachtung der gefässerweiternden Nervenwirkungen 198
§. XV. Beobachtungsmethoden der Respirationseinflüsse auf die Circulation 201
Bibliographie zu Capitel II. 204

Drittes Capitel.

Athmung.

§. I. Methoden, die Athembewegungen graphisch zu verzeichnen 208
§. II. Spirometrie und Pneumometrie 213
§. III. Messungsmethoden des Gaswechsels im ganzen Organismus 217
§. IV. Methoden zur Gewinnung der Blutgase 231
§. V. Methoden zur Analyse der Blutgase 244
§. VI. Erzeugung der Dyspnoe und Apnoe 253
§. VII. Versuche über die Innervation der Athmungsorgane 256
Bibliographie zu Capitel III. 262

Viertes Capitel.

Absonderungen und Ausscheidungen.

§ I. Versuche über die Speichelsecretion 264
§. II. Anlegung von Fisteln 274
A. Anlegung von Magenfisteln 274
B. Anlegung von Darmfisteln 278
C. Anlegung von Pankreasfisteln 281
D. Anlegung von Gallenfisteln 284
Anhang zu §. II. 285
§. III. Versuche über die Harnabsonderung 286
§. IV. Versuche über Lymphabsonderung 293
§. V. Beobachtung der Bewegungen im Verdauungstractus 305
Anhang zu Capitel IV. 311
Bibliographie zu Capitel IV. 314

Fünftes Capitel.

Allgemeine Nerven- und Muskelphysiologie.

Erste Abtheilung.

Die gebräuchlichsten Apparate.

Seite

§. I. Wahl der Elemente und Einrichtung von Batterien 316
§. II. Stromschliesser, Stromunterbrecher und Stromwender 317
§. III. Rheochorde und Rheostate 333
§. IV. Einrichtung und Handhabung des Multiplicators 339
§. V. Einrichtung und Handhabung der Spiegelbussolen 350
§. VI. Messung elektromotorischer Kräfte mittelst des Compensators 362
§. VII. Die Inductionsapparate; ihre Graduirung und besondere Einrichtungen . . . 368

Zweite Abtheilung.

Anordnungen der Versuche.

§. VIII. Methoden zur Beobachtung der elektromotorischen Kräfte der Nerven und Muskeln 384
§. IX. Methoden zur Beobachtung des Elektrotonus und der negativen Schwankung . 395
§. X. Methoden zur Erregung der Nerven und Muskeln und zur Prüfung ihrer Erregbarkeit 414
§. XI. Methoden zur Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven 426
§. XII. Methoden zur Beobachtung der Formveränderungen des Muskels 452
§. XIII. Methoden zur Beobachtung der Leistungen des Muskels 473
Bibliographie zu Capitel V. 495

Sechstes Capitel.

Specielle Nervenphysiologie.

§. I. Versuche über das Gehirn 500
§. II. Operationen an den Hirnnerven 509
§. III. Versuche über das Rückenmark 517
§. IV. Versuche über die Reflexbewegungen 530
§. V. Versuche über Bewegungsstörungen 539
§. VI. Operationen an dem Sympathicus 547
Bibliographie zu Capitel VI. 554
Nachtrag zu Cap. II §. VIII. 556
Nachtrag zu Cap. II §. IX. 557
Sach-Register 561
Berichtigungen 566

ERSTES CAPITEL.

Allgemeine Versuchsregeln.

§. 1. Zweck der physiologischen Versuche.

Das physiologische Experiment verfolgt gewöhnlich zwei Ziele: entweder Entdeckung neuer oder Bestätigung schon früher gefundener Thatsachen.

Im letzteren Falle kann der Versuch wieder verschiedenen Zwecken dienen. So unternimmt ihn der Experimentator zur eigenen Ueberzeugung von der Richtigkeit einer mitgetheilten Thatsache oder auch in der Absicht, einem grösseren Zuhörerkreise durch Vorführung einer Erscheinung eine klare Anschauung und besseres Verständniss derselben zu geben.

In allen diesen Fällen ist die Art sowohl der vorbereitenden Anordnung, wie auch der Ausführung des Experiments eine mannigfache, und selbstredend richtet sie sich nach dem jeweiligen Zwecke. Daher ist es vor Allem wichtig, das letzterer in möglichster Deutlichkeit von dem Experimentator erkannt und festgehalten wird.

Bildet das Ziel des Versuches die Beantwortung irgend einer speciellen Frage, so muss zunächst geprüft werden:

1) In wie weit mit den zu Gebote stehenden Mitteln die Erzeugung der für das Beobachten der betreffenden Erscheinungen nothwendigen Bedingungen möglich ist.
2) Welche Massregeln ergriffen werden müssen, um bei der Ausführung des Versuches das etwaige Auftreten von Nebenerscheinungen entweder gänzlich zu vermeiden oder doch dermassen zu beschränken, dass sie bei dessen Deutung keinen störenden Einfluss üben.
3) Ob die bei dem Versuche zu erwartenden Reactionen derartige sein können, dass sie in der That als Antwort auf die gestellte Frage zu benutzen sind.

Ist man zur Anstellung eines Versuches geschritten, ohne sich die zu seiner Ausführung und Deutung erforderlichen Mittel gesichert zu haben, so stösst man gewöhnlich auf Thatsachen, die entweder nur Resultate des fehlerhaften Experimentirens sind oder ihrer Natur nach überhaupt jedem Erklärungsversuche spotten.

Sind die nothwendigen methodischen Mittel nicht vorhanden, so muss man zur Herstellung derselben schreiten. Dieses ist gewöhnlich die schwierigste, aber auch oft die lohnendste Arbeit bei jeder selbstständigen Untersuchung; ihr mehr oder weniger genügendes Resultat hängt ebenso vom individuellen Scharfsinn des Be-

obachters wie von seiner genauen Bekanntschaft mit den ihm schon zu Gebote stehenden Errungenschaften der physiologischen Technik ab.

Ist der Experimentator bei einer gewissen Anordnung des Versuches stehen geblieben, so prüft er zuerst, in wie weit dieselbe ihrem Zwecke entspricht: ob die betreffenden Apparate in der That in gehoffter Weise und mit der gewünschten Präcision arbeiten, ob bei der Ausführung des Versuches nicht störende Nebenumstände hervortreten, die das Ergebniss trüben könnten u. s. w.

Mag die Zeit, welche so auf die Fundamentirung der Methode verwendet werden muss, noch so lang sein, sie ist immer mit Nutzen verwendet; und wenn man die Ausdauer hat, nicht eher zum endgültigen Experimentiren zu schreiten, als bis die Methode unangreifbar dasteht, so wird man reichlich belohnt, indem sie vor Zeitverlust durch unreife Experimente bewahrt. —

Soll dagegen der Versuch nur die Wiederholung einer schon von einem andern Beobachter ausgeführten Untersuchung sein, so ist das dabei anzuwendende Verfahren je nach dem jedesmaligen Zwecke verschieden. Besteht dieser in der Controle einer fremden Mittheilung, so ist zuerst genau im Originale selbst zu ersehen, wie und mit welchen Cautelen der Versuch ausgeführt worden ist. Ist eine Vivisection in einer wenig bekannten Gegend dabei nothwendig, so müssen zuvörderst einige anotomische Präparationen dieser Gegend gemacht werden, von denen man die gelungenste als Controlpräparat conservirt.

Sind physicalische Apparate erforderlich, so ist es am besten, nur mit solchen zu arbeiten, die genau denjenigen entsprechen, mit welchen das Experiment von dem ersten Beobachter angestellt worden ist.

Ist dieses unmöglich, so sind wenigstens solche Apparate zu wählen, die eben so sicher und präcis die zu beobachtende Erscheinung hervorrufen können. Zu diesem Behufe sind jedenfalls die Apparate vor dem Versuche in Bezug auf ihre Leistungsfähigkeit zu prüfen.

Ferner muss der Versuch mehrmals wiederholt werden, um das Recht zu geben, von wirklicher Controle einer fremden Beobachtung zu sprechen.

Weiss ja doch der geübte Experimentator nur zu gut, wie oft ein anscheinend ganz nichtssagender Unterschied in der Anordnung zu durchaus verschiedenen Resultaten führt. Bei so complicirten und scheinbar so capriciösen Erscheinungen, wie es die sind, mit welchen der Physiologe zu thun hat, ist der Erfolg oft von ganz unbedeutenden Nebenumständen nicht unwesentlich beeinflusst.

Wiederum andere Gesichtspunkte sind bei Demonstration von Versuchen vor einem grösseren Kreise festzuhalten. Als erste Regel muss hier gelten, dass man dieselbe unter keinen Umständen unternehmen darf, bevor man nicht den betreffenden Versuch für sich selbst angestellt hat.

So sichergestellt auch das Ergebniss erscheinen mag, so leicht und gewohnt dem Experimentator auch die nothwendigen Handgriffe sein mögen — nie lasse er sich verleiten, von dieser Regel abzuweichen, wenn er sich nicht mancher unangenehmen Enttäuschung aussetzen will.

Das sichere Bewusstsein des Experimentators, dass ein bestimmtes Resultat bei einem gegebenen Versuche eintreten *muss*, ist für das Gelingen auch weniger complicirter Untersuchungen durchaus nothwendig; dieses Bewusstsein und die

aus demselben folgende Ruhe beim Demonstriren erwachsen lediglich bei der stricten Befolgung der angeführten Regel.

Sodann ist bei Ausführung von Versuchen zu demonstrativen Zwecken besonders darauf zu achten, ob die beobachtete Erscheinung überhaupt einem grösseren Kreise veranschaulicht werden kann. Im Allgemeinen kann man behaupten, dass es sehr wenige Versuche giebt, die man nicht auf die eine oder die andere Weise deutlich demonstriren könnte. Das Meiste hängt dabei ab von dem näheren Zwecke des Versuchs und von der Einrichtung der disponiblen Räumlichkeiten.

Der Zweck einer Demonstration kann ein doppelter sein: der Vortragende will entweder den Zuhörern die Ueberzeugung von der Richtigkeit einer Thatsache beibringen oder ihnen eine Erscheinung veranschaulichen, um deren Verständniss zu fördern. Der erste Zweck ist nur erreichbar, wenn der Kreis der Zuhörer so beschränkt ist, dass alle sowohl die ganze Anordnung, als auch die Ausführung des Versuches genau verfolgen können. Dagegen ist der zweite Zweck für die meisten derjenigen Versuche, welche überhaupt Gegenstand der Demonstration sind, bei einiger Uebung leicht zu erreichen. Durch Vergrösserung der Bewegungen mittelst Hebelwerke, durch zweckentsprechende Regulirung der Beleuchtung, durch Reflexion und Projection kann man die eine Reihe von Erscheinungen sichtbar, durch acustische Vorrichtungen die andere hörbar machen, und dadurch das Verständniss der meisten physiologischen Thatsachen bedeutend erleichtern. Eine Hauptbedingung ist natürlich eine angemessene Construction des Hörsaales, und zwar sowohl in acustischer als in optischer Beziehung.

(Mein Hörsaal für demonstrative Vorlesungen [1]) ist so eingerichtet, dass das Licht durch vier grosse Fenster von der Seite und durch ebenso viele von vorn her eindringt. Durch Rouleaux aus Filz, mit Wachsleinwand überzogen und leicht heraufwie herunter zu rollen, kann auch am Tage die Beleuchtung der Versuchstische und der Apparate in den weitesten Grenzen variirt werden. — Natürlich ist dies bei Gasbeleuchtung durch zweckentsprechende Anordnung und Construction der Lampen in noch viel höherem Grade möglich, indem man so den einen Theil des Saales ganz verdunkeln, den andern intensiv beleuchten kann u. s. w.)

Bei der Beschreibung der einzelnen Versuche werde ich, insofern es nöthig sein sollte, auf besondere Vorrichtungen und Anordnungen aufmerksam machen, welche bei deren Demonstration von Nutzen sind.

§. II. Physicalische Apparate bei physiologischen Versuchen.

Da Mass und Gewicht in der Erforschung der Lebenserscheinungen schon längst die weiteste Anwendung gefunden haben, so hat auch die Benutzung physicalischer Messinstrumente bei physiologischen Versuchen eine bedeutende Ausdehnung gewonnen.

Die feineren gegenseitigen Beziehungen und Abhängigkeiten der verschiedenen Functionen können nur dann zum Vorschein kommen, wenn die sie bedingenden

1) In der Medicinischen Academie benutze ich für Vorlesungen zwei Auditorien: das eine für theoretische Vorlesungen auf mehr als 600 Zuhörer berechnet; das zweite zu demonstrativen Vorlesungen für etwa 200. Für diese letzteren Vorlesungen muss daher die ganze Zuhörerzahl in zwei, drei Gruppen vertheilt werden, sämmtliche Versuche also mehrmals wiederholt werden.

zeitlichen und räumlichen Veränderungen, sowohl der Dauer als der Intensität nach, auf das genaueste geprüft und gemessen werden. — Aber auch zum Verständniss der einfachen und gröberen Bewegungserscheinungen, die im thierischen Körper vor sich gehen, ist genaues Messen unumgänglich.

Manometer, Thermometer, Galvanometer etc. sind daher die nothwendigsten und gebräuchlichsten Hülfsmittel bei den meisten physiologischen Versuchen.

Es genügt eine nur oberflächliche Betrachtung des jetzigen Standes wie der Entwickelungsgeschichte der physiologischen Kenntnisse, um die Ueberzeugung zu gewinnen, dass richtiges Verständniss und volle Würdigung der physiologischen Thatsachen meistens nur dann ermöglicht war, wenn dieselben ihrer Natur nach einer messenden Prüfung, im weitesten Sinne dieses Wortes, unterworfen werden konnten.

Der Experimentator wird es daher nie unterlassen, bei der Anstellung eines physiologischen Versuches das Möglichste zu thun, um die zu betrachtenden Erscheinungen mittelst physicalischer Apparate der genauen Analyse zugänglich zu machen. Er wird nur selten in die Lage kommen, den reichen Vorrath physicalischer Instrumente, welche die Physiologie für ihre Zwecke geschaffen, für einen speciellen Fall unzureichend zu finden. Meistens wird eine grössere oder geringere Modification der vorhandenen Apparate schon genügen, um das erstrebte Ziel erreichen zu lassen.

Physicalische Instrumente werden aber in der Physiologie nicht nur zur genauen Beobachtung, sondern auch zur Herbeiführung gewisser Versuchsbedingungen verwendet.

Wenn in irgend einem Zweige der Naturwissenschaften sich die Beobachtung von dem Versuche nicht trennen und gesondert ausführen lässt, so ist es gewiss in der Physiologie. Der Physiologe ist nur höchst selten in dem Falle, eine Lebenserscheinung so zu beobachten, wie sie sich ohne jedes Zuthun seinerseits den Sinnen darbietet; meistens wird er, wenn auch nur um seine Beobachtung sicherer und präciser zu gestalten, in die Erscheinung wenigstens insofern einzugreifen versuchen, als er sie dadurch klarer und anschaulicher hervortreten lässt.

Wenn andererseits der Physiologe gewisse neue Bedingungen schafft, unter denen er die Lebenserscheinungen sich zu äussern zwingt, wenn er also einen Versuch anstellt — so ist doch sein letzter Zweck der, diese Erscheinungen von neuen Gesichtspunkten aus beobachten zu können. Wenn man die classische Definition von Cuvier beibehält: „L'observateur écoute la nature; l'expèrimentateur l'interroge et la force à se dévoiler", so ist der Physiologe zugleich Experimentator und Beobachter. Ebenso häufig also, wie der Physiologe als Beobachter zu physicalischen Apparaten seine Zuflucht nimmt, muss er zu denselben auch als Experimentator greifen. Um die Versuchsbedingungen vollkommen zu beherrschen, ist es durchaus erforderlich, die auf die Lebensfunctionen einwirkenden Factoren, z. B. Temperaturänderungen, Reizungen, Belastungen etc. exact graduiren und messen zu können. Auch zu diesem Zwecke also ist der Gebrauch physicalischer Apparate nothwendig. Da es sich dabei aber meistens um Schaffung neuer Versuchsbedingungen handelt, so ist der Experimentator hier häufiger in der Lage, neue Apparate und Vorrichtungen zu ersinnen und construiren zu lassen.

Allgemeine Regeln lassen sich dabei natürlich nicht angeben. Bei der Beschreibung der verschiedenen Apparate wird einerseits auf die allgemeinen Bedingungen aufmerksam gemacht werden, welche solche Apparate zu erfüllen haben, andererseits auch etwaige Modificationen derselben zu speciellen Zwecken angeführt werden. Dass solche Apparate um so eher ihren Zweck erfüllen, je einfacher sie construirt sind und je leichter sie in Thätigkeit gesetzt werden können, versteht sich von selbst.

Ein grosser Theil der physicalischen Apparate, welche wir in der Physiologie verwenden, dient dazu, die Capacität unserer Sinnesorgane bei der Beobachtung zu verstärken oder zu schärfen; so z. B. Miscroscope, Fernröhre, Resonatoren etc. Ein anderer Theil unterstützt uns auf andere Weise. Bewegungen, deren Kleinheit oder Kürze der sinnlichen Wahrnehmung sich entziehen, werden durch verschiedene Vorrichtungen vergrössert resp. verlängert und so der directen Beobachtung zugänglicher gemacht. Erscheinungen, welche sich zunächst nur einem einzigen Sinne offenbaren, werden durch gewisse Vorrichtungen auch für die Beobachtung eines anderen bereit gestellt und so der Controle mehrerer Sinne gleichzeitig ausgesetzt.

Eine besonders hervorragende Bedeutung haben in der Physiologie diejenigen Apparate gewonnen, welche zur graphischen Darstellung verschiedener im thierischen Organismus vorkommender Bewegungen gebraucht werden. Auf die allgemeine Bedeutung und Gebrauchsweise der graphischen Methode in der Physiologie werde ich daher etwas ausführlicher eingehen.

§. III. Die graphische Methode.

Alle Verrichtungen des thierischen Organismus lassen sich in letzter Instanz auf Massen- oder auf Atombewegungen zurückführen. Die Erforschung dieser Verrichtungen fusst also auf der Auffindung der Gesetze, welchen diese Bewegungen gehorchen. Daher kommt es, dass die meisten in der Physiologie verwendeten Apparate zur Beobachtung der verschiedenartigen Bewegungen dienen. In jeder Bewegung müssen hauptsächlich zwei Elemente unterschieden werden: die Dauer und die Intensität. Wenn wir also eine Bewegungserscheinung mit Hülfe unserer Apparate betrachten wollen, so müssen wir im Stande sein, sowohl die kürzesten Zeitintervalle, als auch die kleinsten Schwankungen in der Intensität einer sich äussernden Kraft genau zu messen. Im Chronometer, Micrometer und Dynamometer besitzen wir einige der Hauptrepräsentanten solcher Apparate.

Wir können aber bei der Beschreibung solcher Bewegungen auch eine bildliche, graphische Darstellung ihrer Eigenschaften geben — indem wir ihre Form fixiren. Unter graphischer oder bildlicher Darstellung versteht man im Allgemeinen die Wiedergabe einiger Eigenschaften, wie Form und Umfang von Gegenständen, mit Hülfe gewisser verabredeter Zeichen. So z. B. gewinnen wir durch Zeichnungen die Form von Pflanzen und Thieren, durch geographische Karten die Form einzelner Welttheile etc. Der grosse Werth solcher graphischen Darstellungen besteht eben darin, dass sie uns zu jeder Zeit auch ohne nähere Beschreibung eine richtige Vorstellung selbst von sonst augenblicklich nicht sichtbaren Formen geben. In dieser Hinsicht vertreten sie eine Universalschrift, welche allen Völkern sogar in den verschiedensten Epochen verständlich ist.

Die graphische Darstellung giebt aber nicht nur richtige Vorstellung über die beständige Form und Lage von Körpern, sie kann ebenso benutzt werden, um eine Form- oder Lagerveränderung, d. h. um eine Bewegung darzustellen. Auf dieser Möglichkeit beruht die grossartige Bedeutung, welche die Graphik für die Naturwissenschaften gewonnen hat.

Jede vor sich gehende Erscheinung bedarf einer mehr oder weniger langen Zeit, um alle Phasen ihres Geschehens zu durchlaufen: ein erwärmter Körper braucht eine gewisse Zeit, bis er zum Maximum seiner Temperatur gelangt, eine verdampfende Flüssigkeit eine gewisse Zeit, bis sie ganz in Dampf übergegangen ist u. dgl. m. Diese Erscheinungen erreichen also zu verschiedenen Zeiten ihrer Dauer verschiedene Intensitätsgrade. Wenn man die ganze Zeitdauer einer Erscheinung in grössere oder kleinere Intervalle eintheilt, so wird man sich überzeugen, dass jedem Zeitintervalle ein gewisser Grad der Intensität entspricht (z. B. je nachdem eine stärkere oder geringere Formveränderung eines Körpers eingetreten ist). Je kürzer diese Zeitintervalle gewählt werden, desto vollkommener wird der Begriff, den wir über die Natur der Erscheinung erhalten. Wenn man daher eine graphische Darstellung des Ganzen einer Erscheinung geben will, so muss man suchen, soweit als möglich diese Zeitintervalle einander zu nähern.

Um eine solche graphische Zeichnung zu gewinnen, verfährt man folgendermassen. Man theilt einen Bogen Papier in ganz regelmässige Quadrate. Jeder Abschnitt auf der horizontalen Linie wird für ein gewisses Zeitintervall angenommen, z. B. für eine Secunde; die horizontale Linie wird uns also als Abscisse die Zeitdauer der Erscheinung in Secunden getheilt vorführen. Sodann theilt man auch die Intensität der Erscheinung in gewisse gleiche Grade und nimmt z. B. an, dass jeder Grad einem Abschnitt auf der verticalen Linie entspricht; diese Linie wird alsdann die Ordinate liefern und die Intensität der Erscheinung ausdrücken.

Sodann bezeichnet man durch Punkte an der einer jeden einzelnen Secunde entsprechenden Ordinate diejenige Höhe, welche den diesem Zeitintervall zukommenden Intensitätsgrad bezeichnet. Wenn man dann alle diese Punkte durch eine Linie verbindet, so erhält man eine Curve, welche alle Phasen der uns interessirenden Bewegung darstellt — die Intensität der Erscheinung in ihrer Abhängigkeit von der Zeit.

Selbstverständlich kann man ausser der Abhängigkeit einer Bewegung von der Zeit auch die Abhängigkeit einer Bewegung von anderen Momenten graphisch darstellen. Um ein dem Physiologen geläufiges Beispiel zu wählen, kann man ganz in derselben Weise die Abhängigkeit der Zahl der Herzschläge von den Temperaturveränderungen des Blutes oder anderen Momenten ausdrücken. In solchem Falle werden die Temperaturveränderungen auf der Abscisse und die ihnen entsprechenden Zahlen der Schläge in der Zeiteinheit auf der Ordinate markirt.

Je kürzer die Zeitintervalle sind, in welche wir irgend eine Bewegung zerlegen können, desto vollkommener vermögen wir, wie gesagt, deren Charakter zu erkennen. Nun laufen aber viele physicalische und fast alle physiologische Bewegungen mit einer solchen Geschwindigkeit ab, dass wir ohne besondere Hülfsmittel weder im Stande sind, ihre Zeitdauer in mehrere Zeitintervalle zu theilen, noch die diesen Intervallen zukommenden Intensitätsgrade zu messen. Eine

graphische Darstellung ähnlicher Bewegungen könnte nur die maximalen Intensitätsveränderungen und relativ grosse Intervalle wiedergeben. Viele Erscheinungen wären daher unserer Beobachtung ganz entzogen oder unsere Beobachtung müsste sich mit sehr wenigen Angaben begnügen, deren thatsächliche Genauigkeit völlig durch die individuellen Eigenschaften des Beobachters bedingt wären. Indess sind wir jetzt im Stande, mit Hülfe selbstschreibender Apparate mit der grössten Genauigkeit nicht nur die minimalsten Schwankungen in der Intensität irgend einer Bewegung, sondern auch Schwankungen zu beobachten, deren Dauer $^1/_{1000}$ Secunde nicht übersteigt. Solche selbstschreibende Vorrichtungen sind in mehr oder weniger vollkommener Gestalt schon seit sehr lange her zu meteorologischen Zwecken verwendet worden. Später benutzte sie J. Watt, um die Schwankungen in der Spannung des Dampfes während der Bewegungen des Stempels in seiner Dampfmaschine auf einer rotirenden Trommel zu verzeichnen. Th. Young hat eine sehr wesentliche Verbesserung in dem Verzeichnen der selbstschreibenden Apparate eingeführt, auf die wir noch im zweiten Capitel zurückkommen werden. — Eine grössere Verwendung in der Physik erhielten aber die selbstschreibenden Apparate erst, seitdem sie Poncelet und Morin zum Studium des Fallgesetzes verwendet haben. Ohne von dieser letzteren Anwendung Kenntniss gehabt zu haben, ist Ludwig ganz selbstständig auf diese Methode gekommen und hat sie in die Physiologie beim Studium der Blutcirculation, durch Construction seines Kymographions, eingeführt. Dadurch ist der physiologischen Methodik eine der grössten und fruchtbarsten Dienstleistungen erwiesen worden. Denn nicht nur ist diese erste Anwendung der graphischen Methode in der Physiologie der Anstoss zu deren weiteren Verbreitung geworden, sondern auch das von Ludwig zuerst construirte Kymographion ist jetzt der am meisten verbreitete und am fruchtbarsten angewendete aller graphischen Apparate. Bald nach Ludwig hat Helmholtz dasselbe Princip zur Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung in Nerven benutzt. Seitdem ist der Gebrauch der selbstschreibenden Apparate in der Physiologie besonders durch Ludwig, Du Bois Reymond, Vierordt, Marey u. A. so ausgedehnt worden, dass wir fast keinen Abschnitt derselben besitzen, wo diese Methode nicht schon die grössten Dienste geleistet hätte. Das Wesen solcher selbstschreibenden Apparate besteht darin, dass die betreffende Bewegung eines Körpers auf ein Hebelwerk übertragen wird, dessen Excursionen auf einem Streifen Papier verzeichnet werden, der mit gleichmässiger Geschwindigkeit vor dem Hebelwerk vorbeigeführt wird.

Am leichtesten kann die Bedeutung dieser Apparate an der ersten Anwendung, welche Poncelet und Morin von ihnen beim Studium des Fallgesetzes gemacht haben, veranschaulicht werden. An dem fallenden Körper wurde eine Nadel befestigt, die dessen Bewegung auf eine Trommel zeichnete, welche mit gleichmässiger Geschwindigkeit sich vor der Nadel drehte. Wenn die Trommel unbeweglich gewesen wäre, so hätte der freifallende Körper auf ihr eine gerade verticale Linie abgebildet; wäre dagegen der Körper unbeweglich und die Trommel drehte sich vor der Nadel, dann würde eine gerade horizontale Linie auf ihr erscheinen. Da aber sowohl der Körper als die Trommel sich in Bewegung befinden, so kann natürlich die gezeichnete Curve weder ganz horizontal noch ganz vertical sein: bei freiem Falle hat sie die Form einer Parabel. Eine solche Curve

wird sich um so mehr der verticalen Richtung nähern, je schneller die Bewegung des Körpers ist — sie wird im Gegentheil sich der horizontalen nähern, wenn die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel zunimmt.

Wenn man nun auf dem Papier, auf welchem diese Curve gezeichnet ist, irgend eine Horizontale als Abscisse nimmt, so werden deren einzelne Abschnitte gewissen Zeitintervallen entsprechen; wenn z. B. der Kreisumfang des Cylinders 500 Millimeter und seine Umdrehungszeit eine Secunde beträgt, so entspricht jedes Millimeter der Abscissenlänge $^1/_{500}$ Secunde. Die einzelnen Theile der Ordinate entsprechen den Distancen des Raumes, welchen der Körper in den betreffenden Zeitintervallen durchlaufen hat. Das Wesen dieser Anwendungsart der graphischen Methode besteht also darin, dass in der Zeit vorsichgehende Bewegungen in solche übertragen werden, die im Raume geschehen; mit anderen Worten: zeitliche Schwankungen gehen in räumliche über. (n Millimeter = $^1/_n$ Secunde.) Ausser der Möglichkeit, die uns diese Methode giebt, Bewegungen mit Leichtigkeit in ihre kleinsten Phasen zu zerlegen, können wir noch Jahrhunderte, nachdem die betreffende Bewegung abgelaufen ist, sie mit mathematischer Genauigkeit zergliedern.

Durch Vervielfältigung einer solchen Curve kann man die Richtigkeit der gemachten Beobachtungen zu jeder Zeit beweisen, und kann man ferner das Studium dieser Bewegungen auch Anderen ermöglichen, welche die Bewegung selbst zu beobachten nie Gelegenheit hatten. Ein weiterer Vortheil ist es, dass die Genauigkeit dieser Curve von der Individualität des Beobachters unabhängig ist. Ihr Werth wird durch die beiden folgenden Momente bedingt, erstens dadurch, dass der registrirende Apparat exact die betreffende Bewegung wiedergiebt, und zweitens dadurch, dass das Papier oder die Glasplatte, auf welche sie übertragen wird, sich mit der grössten Regelmässigkeit bewegt. — Bei der Beschreibung der einzelnen Vorrichtungen dieser Art werden wir genau auf die Mittel hinweisen, durch welche man diesen beiden Bedingungen Genüge leistet.

§. IV. Vivisectionen.

Mit wenigen Ausnahmen ist jeder physiologische Versuch mit einer Operation am lebenden Thiere, mit einer Vivisection verbunden. Schon diese unumgängliche Nothwendigkeit der Vivisection, als des hauptsächlichsten Hülfsmittels beim experimentellen Studium der Physiologie, macht alle Discussionen darüber, wie weit solche quälende Operationen am lebenden Thiere zulässig sind, überflüssig. Soll die Medicin einst eine streng wissenschaftliche Basis in allen ihren Zweigen erhalten, so muss sie dieselbe in erster Linie von der Physiologie erwarten. Verzichtleisten auf Vivisectionen hiesse also gleichzeitig der Heilswissenschaft den Weg weiterer Vervollkommnung abschneiden.

Der Arzt, welcher mit Abscheu von der Thierquälerei bei physiologischen Versuchen spricht, möge sich nur erinnern, wie oft er dem Kranken höchst widerwärtige und nicht immer gefahrlose Mittel verschrieben, um über deren Wirkung irgend welche Aufschlüsse zu erhalten. Gar manche chirurgische Operation wird weniger zum Heile des Kranken, als zum Nutzen der Wissenschaft vorgenommen; und nicht selten ist der so erzielte Nutzen viel winziger als der durch eine am Thiere ausgeführte Vivisection gewonnene. Wenn also jede Discussion über die Zulässig-

keit der Vivisectionen auch ganz müssig wäre, so darf man andrerseits bei jedem Versuche zwei Punkte nicht ganz ausser Acht lassen.

1) Man soll nie zu einer Vivisection schreiten, ohne vorher zu prüfen, ob der zu erreichende Zweck (besonders bei Demonstrationen von Versuchen) nicht auch ohne eine solche zu erzielen wäre.

2) Man wende, wofern die Art des Versuches dies nur irgendwie zulässt, vorherige Narcotisationen an (Chloroform, Chloral, Opium etc. etc.).

Wenn man ausserdem bei jeder Vivisection den für die wissenschaftliche Ausbeutung derselben geltenden Regeln folgt, so wird man damit meistens auch die Operation auf die für das Thier schonendste Weise ausführen.

Das Operiren an lebenden Thieren in der Absicht, über die Functionen der einzelnen Organe Aufschluss zu erhalten, ist schon seit jeher von Aerzten in Anwendung gebracht worden. Galenus war, so weit bekannt, der Erste, welcher zu ähnlichem Behufe Vivisectionen an Thieren anstellte, nachdem schon seine Vorgänger zu anatomischen Zwecken Thiere secirt hatten.

Es ist natürlich, dass bei dem hohen Alter der Lehre von den Vivisectionen sowohl ihre näheren Zwecke als auch die an sie gestellten Anforderungen sich mit der Zeit mehrfach verändert haben. Im Allgemeinen kann man durch eine Operation am Thiere auf folgende Weise Aufschluss über die Functionen gewisser Theile des thierischen Körpers erhalten:

1) Man verletzt oder entfernt irgend einen Theil des thierischen Körpers und beobachtet sodann, welche von den bekannten Functionen des Organismus dabei verändert worden resp. weggefallen ist, oder wie weit das gesammte Leben des Thieres dadurch gelitten hat.

2) Man öffnet irgend eine Höhle des Körpers, um die sichtbaren Bewegungen eines Organs beobachten zu können.

3) Man sucht die Thätigkeit irgend eines Organs derartig zu steigern oder zu verändern, dass vermittelst der hervorgerufenen Modificationen Schlüsse auf die normale Natur desselben gezogen werden können.

4) Man operirt das Thier, um gewisse in seinen Organen abgesonderte Flüssigkeiten zu sammeln. Indem man alsdann deren Eigenschaften ausserhalb des Körpers untersucht, gewinnt man die Möglichkeit, Rückschlüsse über die Rolle der sie absondernden Organe zu machen. — Während die zwei ersteren Operationsweisen im Beginne der physiologischen Vivisectionskunst [1]) die einzig gebrauchten waren, sind in der neueren Zeit mit der Entwickelung der Physiologie die zwei letzteren bedeutend in den Vordergrund getreten. Die erste ist fast ganz verlassen worden, die zweite hat ihren ursprünglichen Charakter bedeutend geändert. Während früher die Entblössungen der Organe sich fast ausschliesslich auf die Eröffnung der Höhlen beschränkten, um die mit blossem Auge sichtbaren Herz- oder Darmbewegungen zu beobachten — also mehr Beobachtungen waren, werden jetzt solche Vivisectionen hauptsächlich als Versuche ausgeführt. Dank der erstaunlichen Vervollkommnung der physiologischen Hülfsmittel sind unserer Beobachtung Erscheinungen zugänglich gemacht worden, die sonst unseren Sinnes-

1) Natürlich sind diejenigen Vivisectionen, welche die Wirkungsweise verschiedener Arzneimittel zu entdecken bezweckten, hier ganz ausser Acht gelassen.

organen ganz verborgen blieben. Wir verbinden den Nerv mit dem Galvanometer, legen das Mesenterium unter das Microscop — und sind so im Stande, Erscheinungen zu sehen, zu messen und zu beherrschen, deren Existenz ohne diese Apparate für uns in ein geheimnissvolles Dunkel gehüllt wäre.

Was die Verletzung oder Entfernung gewisser Organe resp. Stücke derselben anbetrifft, so war diese Operationsweise früher die der Physiologie alleinig bekannte und zugängliche. Aus mehreren leicht einleuchtenden Gründen ist diese Art zu experimentiren jetzt viel weniger im Gebrauche und überhaupt stets zu vermeiden, falls eine andere Operationsweise zulässig ist. Die Zahl der Organe, welche, ohne unmittelbaren Tod herbeizuführen, vom Körper entfernt werden können, ist sehr beschränkt (Milz, Grosshirn, Nebenniere etc.).

Die Aufschlüsse, welche man von solchen Operationen erwarten kann, sind schon durch deren vielfache Ausführung genügend festgestellt worden und können selbstverständlich nur auf einen beschränkten wissenschaftlichen Werth Anspruch machen. Die Nebenverletzungen, von welchen solche operative Eingriffe unvermeidlich begleitet werden, sind meistens so bedeutend, dass sie allein schon das durch die Operation erzeugte Bild dermassen trüben, dass keine klare Entscheidung darüber möglich ist, was dem Wegfalle des entfernten Organs — was diesen Mitverletzungen zuzuschreiben ist. Noch mehr aber wird die Verwerthung solcher Bilder erschwert durch den Umstand, dass die Functionen der einzelnen Organe sowohl in die Verrichtungen der übrigen, wie in die allgemeine Oeconomie des Organismus so tief eingreifen, dass durch ihre Entfernung auch die übrigen Organe bedeutend in Mitleidenschaft gezogen werden. Daher sind die Erscheinungen, welche nach solchen Entfernungen von Organen zum Vorschein kommen, so mannigfaltig und complicirt, dass eine Deutung derselben oft geradezu unmöglich wird. Vivisectionen dieser Art werden also jetzt nur selten und auch nur an einigen Partieen des centralen Nervensystems ausgeführt, wo sie leider noch bis jetzt fast die einzig zugängliche Versuchsweise bilden.

Während man also auf die Entfernung ganzer Organe jetzt meistens verzichtet, sind dagegen Verletzungen einzelner Theile noch sehr gebräuchlich. Am häufigsten werden solche Verletzungen in Form von Durchschneidungen einzelner Nervenstämme ausgeführt. Diese Durchschneidungen werden aber häufiger zu anatomischen, als zu rein physiologischen Zwecken vorgenommen. Da vom Centrum getrennte Nerven nach einiger Zeit der Degeneration anheimfallen, so kann man mittelst solcher Durchschneidung von Nerven und nachheriger microscopischer oder physiologischer Untersuchung (vermittelst Reizungen) nach beiden Richtungen hin sowohl ihren Ursprung als ihren Verbreitungsbezirk bestimmen.

Handelt es sich dagegen um Erforschung der physiologischen Function gewisser Nerven, so nimmt man viel sicherer zur dritten der oben erwähnten Vivisectionsarten seine Zuflucht, indem man nämlich die Functionen zu steigern oder willkürlich hervorzurufen sucht.

Was nun die Vorbereitungen und die schliessliche Ausführung der Vivisectionen anbelangt, so müssen folgende allgemeine Regeln inne gehalten werden.

A. Ehe man zur ersten Ausführung irgend einer Vivisection schreitet, ist es nothwendig, sich mit der Anatomie der betreffenden Gegend des Thieres, das zum

Versuche verwendet werden soll, genau bekannt zu machen. Die Anforderungen, welche die Physiologie in dieser Hinsicht an die Anatomie stellt, sind denjenigen der Chirurgie ganz identisch. Will man daher Vivisectionen in irgend einer Gegend vollziehen, so ist zuerst auf den Bau der betreffenden Theile, den Ursprung ihrer Nerven und Gefässe, den Zusammenhang mit benachbarten Theilen etc. Rücksicht zu nehmen und dann die topographische Anatomie der betreffenden Gegend, also die Lageverhältnisse der einzelnen Organe zu erlernen.

(Die vorhandenen Lehrbücher der Zootomie geben zwar, was die genaue Beschreibung der einzelnen Theile anbetrifft, nur wenige Anhaltspunkte für den Vivisector; doch sind sie immer mit Vortheil zu Rathe zu ziehen. Dagegen fehlt es vollständig an einem Handbuch der physiologischen topographischen Anatomie der Thiere. Hier ist der Experimentator ganz auf sich allein angewiesen). Nachdem man sich nun durch mehrere Präparationen mit den Lageverhältnissen der betreffenden Organe genau vertraut gemacht, muss man auf die leichteste und sicherste Art zu den benachbarten Theilen zu gelangen suchen. Natürlich ist dabei auf mehrere Punkte Rücksicht zu nehmen, welche ganz von der Natur des anzustellenden Versuches abhängen: ob z. B. Gefässunterbindungen, Nervendurchschneidungen zu vermeiden sind, ob isolirte electrische Reizung stattfinden soll, ob irgend welche Apparate oder Theilstücke von solchen in die Tiefe eingeführt werden sollen etc. Im Allgemeinen ist derjenige Weg am empfehlenswerthesten, auf welchem man mit den wenigsten Verletzungen benachbarter Theile zum Ziele gelangt.

Ist man nach mehreren an der Leiche ausgeführten Operationen über den Plan der Vivisection ins Klare gekommen, so schreite man, das erste Mal streng diesem Plane folgend, zur Ausführung. Gewöhnlich werden sich dabei die durch die Unterschiede zwischen lebenden und todten Theilen bedingten Abweichungen in der Operationsweise leicht von selbst herausstellen. Von grossem Nutzen ist es bei der Vivisection, mehrere anatomische Präparate der betreffenden Gegend und eine, wenn auch nur schematische, Zeichnung der Lageverhältnisse zu haben.

Schreitet man zu einer neuen Versuchsreihe und hat man über die Wahl des Thieres noch nicht entschieden, so ist es höchst rathsam, die betreffenden Organe bei verschiedenen Thieren anatomisch zu bearbeiten und dann dasjenige zu wählen, welches sich ceteris paribus in anatomischer Beziehung als das geeignetste für den speciellen Zweck erweist.

B. Der nächste Zweck einer Vivisection besteht gewöhnlich in der Beobachtung der Functionen eines Organs unter möglichst normalen Bedingungen. Daher ist vorzüglich darauf zu achten, dass man das in Betracht kommende Organ in möglichst natürlichen Verhältnissen lässt. Da der Einfluss der Luft, der Temperatur, des Druckes von der grössten Bedeutung für die Functionen der geschützt liegenden Theile des thierischen Organismus ist, so muss man sich bemühen, das betreffende Organ so wenig als möglich zu entblössen und aus der normalen Lage zu entfernen. Ist eine Veränderung der Lage und eine Entblössung durch die Versuchsanforderungen durchaus geboten, so suche man die dadurch entstehenden Uebel durch Schutz vor Vertrocknen, vor Abkühlung etc. auf ein Minimum zu reduciren.

Ganz dasselbe gilt auch von den Nebenorganen, welche man auf dem Wege

mit berühren muss. Jede Lebenserscheinung des thierischen Organismus ist das Resultat von vielen Kräften, so dass auch die einfachste Function eines Organs von den regelmässigen Verrichtungen eines Nachbarorgans auf das Wirksamste beeinflusst wird. Je mehr Sorgfalt man also darauf verwendet, die Nachbartheile intact zu bewahren, desto sicherer kann man die zu machenden Beobachtungen wirklich auf die normalen Verhältnisse beziehen.

Andererseits darf man die Aengstlichkeit vor Verletzungen nicht allzuweit treiben. Wenn die Bedingungen des Versuches es erheischen, grössere Verwundungen vorzunehmen, dann führe man sie aus; natürlich müssen die möglichen Folgen dieser Verletzungen bei den gesammelten Beobachtungen auf das Sorgfältigste in Betracht gezogen werden. Auch ist in solchen Fällen nicht ausser Acht zu lassen, dass es häufig bei vivisectorischen Versuchen weniger darauf ankommt, ein bestimmtes Organ in normalem Functioniren zu beobachten, als durch eine Reihe bestimmter, willkürlich gesetzter Bedingungen die normalen Functionen derart zu verändern, dass aus diesen Veränderungen sich über die Natur derselben Schlüsse ergeben. Da es sich also in diesen Fällen darum handelt, die Abhängigkeit einer Function von gewissen gegebenen Einflüssen festzustellen, so genügt es, sämmtliche Nebenbedingungen des Versuches constant zu erhalten — um selbst dann die Beobachtungen vollständig ausbeuten zu können, wenn diese Nebenbedingungen in bedeutenden Verletzungen der Nebenorgane bestehen. (So z. B. wurde, um den Einfluss der Temperaturveränderungen auf die Centralorgane des Herznervensystems zu studiren, durch Unterbindung sämmtlicher zum und vom Gehirn führender Blutgefässe die Circulation in der Schädelhöhle eines durch Curare vergifteten Thieres sistirt, dessen Athmung künstlich unterhalten wurde. Sodann leitete man mittelst besonderer Druckgefässe verschieden temperirtes Blut durch diese Hirngefässe und beobachtete die Veränderungen des Herzschlages und Blutdruckes durch einen mit der Art. cruralis verbundenen Manometer. Hier befand man sich Bedingungen gegenüber, die weit von den normalen abwichen, und doch waren die bei den Temperaturmodificationen eintretenden Abweichungen so constant und deren Deutung durch Controlversuche so erleichtert, dass die Schlüsse auf die Natur dieser Einflüsse sich mit der grössten Präcision ziehen liessen.) — Auf der Möglichkeit, aus solchen unter ganz abnormen Verhältnissen angestellten Beobachtungen in bestimmten Fällen exacte Schlüsse über die normalen Vorgänge zu ziehen, beruht eben die Berechtigung zu Untersuchungen gewisser Organe, die aus ihrem Zusammenhange mit den übrigen entfernt sind. (Von solchen Untersuchungen wird im nächsten Paragraphen ausführlich gehandelt werden.)

Man kann im Allgemeinen bei Vivisectionen auf doppelte Weise zum Ziele gelangen: entweder man legt das Hauptgewicht auf schnelle Ausführung und lässt die dadurch nothwendig werdenden grösseren Verletzungen ausser Acht, oder aber, man scheut keinen Zeitverlust, um die Operation mit kleinen Verletzungen auszuführen. Die schnelle Vollziehung ist in vielen Fällen durch die Versuchsbedingungen selbst geboten — wenn z. B. nur eine rasch vorübergehende Erscheinung zu beobachten ist, oder das Thier die gemachte Operation nur kurze Zeit vertragen kann. — In allen anderen Fällen aber ist diese Verfahrungsweise zu vermeiden. Der geringe Zeitgewinn ist bei Weitem nicht im Stande, den Nachtheil aufzuwiegen,

welcher bei ausgedehnten Verletzungen für die Exactheit der Beobachtungen und die Sicherheit der Schlussfolgerungen erwächst. Es liegt bei physiologischen Versuchen häufig viel daran, ein genaues Gesammtbild von dem Zustande des Thieres resp. seiner Organe zu erhalten. Gar manchmal verhelfen dem geübten Beobachter solche Bilder zum richtigen Verständniss gewisser Erscheinungen nicht weniger, als einzelne leicht greifbare gesonderte Thatsachen. Nicht selten findet der erfahrene Forscher in scheinbar unbedeutenden Nebenumständen, die dem Ungeübten ganz und gar entgehen, den Schlüssel zu einer räthselhaften Erscheinungsreihe, welcher er lange durch sorgfältiges Zergliedern der einzelnen Thatsachen vergebens nachgespürt hat. Wie oft geschieht es, dass derselbe Versuch, welcher von dem Anfänger als verfehlt betrachtet wird, weil der specielle Zweck desselben misslungen ist, dem Meister ganz neue Gesichtskreise eröffnet und den Anstoss zu hervorragenden Untersuchungen giebt!

Diese Gesammtbilder müssen bei den meisten Vivisectionen scharf im Auge behalten werden; oft kann nichts so sehr eine Forschung nutz- und fruchtlos machen, als die gänzliche Vernachlässigung des Allgemeinen wegen einer speciellen Sondererscheinung. Nie wird man aber ein treues Gesammtbild bekommen, wenn man beim Viviseciren rücksichtslos auf das betreffende Organ losgeht, ohne zu erwägen, wie viele andere auf dem Wege mit beschädigt werden. Der Gewinn an Zeit, den man dabei erstrebt, ist nur ein illusorischer. Denn je weniger Sorgfalt auf die Ausführung des einzelnen Versuches verwendet wird, desto grösser wird die Anzahl der für ein bestimmtes Resultat zu unternehmenden Versuche sein. Ein sauberer Versuch ist mehr werth als hundert übereilte. Es sind daher auch die indifferentesten Gewebe möglichst zu schonen. Jede Blutung, sei es eine arterielle oder eine venöse, ist sofort zu stillen, entweder durch Comprimiren oder Unterbinden; wenige Blutstropfen, welche das umliegende Zellgewebe durchtränken, genügen oft, um einen sonst sorgfältig ausgeführten Versuch zu vereiteln, besonders wo es sich um Aufsuchung feiner Nervenzweige und dergleichen handelt. Keine Zeit wird dem Vivisector so sehr nutzbringend sein, wie die, welche auf die Reinhaltung der Wunden verwendet wird; und kein Assistent ist bei den Versuchen so kostbar, wie der, welcher immer zur rechten Zeit eine Blutung zum Stillstehen bringt oder mit einem feuchten Schwamme sorgsam jeden Blutstropfen wegwischt.

Bei jeder neuen Wiederholung eines Versuchs sei man bemüht, immer sorgfältiger vorzugehen: man mache den Hautschnitt kleiner, man umgehe ein Gefäss, das man früher zu unterbinden gezwungen war, man suche durch stumpfe Nadeln, Messerstiel etc. Theile von einander zu entfernen, welche man früher mit Scheere oder Scalpell schneidend getrennt hat. Dem Anfänger ist es durchaus zu empfehlen, recht langsam und sauber zu viviseciren. Die Schnelligkeit in der Ausführung wird schon bei häufiger Uebung im Viviseciren von selbst kommen. Während der langsam und vorsichtig Operirende immer vorwärts schreitet und bald zu grösserer Geschwindigkeit bei gleicher Sorgfalt gelangen kann, geht der im Beginn nachlässig mit grossen Wunden Arbeitende meistens zurück. Hat man sich einmal daran gewöhnt, grosse Wunden zu machen, so wird man tiefliegende kleine Theile, wie Nerven und Gefässe, nur mit Mühe auffinden.

Man beachte überhaupt folgende allgemeine Regel: je kleiner, je circumscripter die Wunde, desto leichter findet man einen tiefliegenden Nervenzweig oder ein Gefäss. Erweiterungen der Wunden können in schwierigen Fällen das Auffinden nur verzögern, da, wenn das Untersuchungsfeld vergrössert, das Aufsuchen eines Drüsenganges, eines Nerven dadurch nur um so mühseliger wird. Solche Verzögerungen sind aber auch darum für den Erfolg eines Versuches unheilbringend, weil sie um so mehr die Geduld des Vivisectors angreifen, je schneller der Beginn des Versuches vor sich gegangen ist; ist aber erst dem Vivisector die Geduld gerissen, so ist es besser, er bricht den Versuch ab, der doch sicher misslingen würde. Mit einem Worte: es gilt in allen Fällen, wo die Bedingungen eines Versuches keine sehr rasche Ausführung gebieten, die Zeit der Sauberkeit zum Opfer zu bringen.

Um in einem Satze alles Gesagte zusammenzufassen: man operire an Thieren immer so, als beabsichtige man sie nach der Vivisection unter den besten Bedingungen am Leben zu erhalten.

Eine Vivisection muss an einem Thiere mit ganz derselben Sorgfalt und denselben Cautelen ausgeführt werden, wie eine chirurgische Operation an einem Menschen. Man muss also so wenig zerstören und soviel erhalten, als es mit dem näheren Zweck der Vivisection nur irgend wie vereinbar ist. Der Vivisector hat mit dem Chirurgen, was die Bedingungen einer sorgfältigen und eleganten Ausführung der vorgenommenen Operation anbetrifft, überhaupt Vieles gemein. Sowohl für den Einen wie für den Anderen sind eingehende anatomische Kenntnisse die erste Bedingung eines erfolgreichen Handelns. Ebenso wie der Chirurge muss auch der Vivisector grosse manuelle Geschicklichkeit, viel Uebung, und, was besonders wichtig, viel Ruhe und Geistesgegenwart besitzen. Weit häufiger als dem Chirurgen kommen dem Vivisector störende Zwischenfälle bei der Operation vor — da platzt ein Glasrohr, hier bricht ein Instrument, reisst ein Blutgefäss oder bildet sich ein Gerinnsel, da ist an dem Galvanometer, dort an irgend einem andern feinen Präcisionsapparat etwas beschädigt, und oft geschieht dies gerade in dem Moment, wo die Vivisection vorbereitet ist und der Versuch beginnen soll. In solchen Fällen sind Ruhe und Geistesgegenwart die kostbarsten Gehülfen des Vivisectors. Ruhig, aber schnell den entstandenen Schaden beseitigen und den Versuch ebenso systematisch und mit derselben scharfen Anspannung aller Sinne weiter fortzuführen, gelingt nicht jedem Experimentator.

Bei der unvergleichlichen Zartheit der Körpertheile und Feinheit der Vorgänge, mit denen der Vivisector es zu thun hat, bei der ungeheueren Empfindlichkeit der meisten physicalischen Apparate, die in der Physiologie zur Verwendung kommen — gehören solche Störungen bei Versuchen gerade nicht zu den Seltenheiten. Das Vorbeugen, Umgehen oder Beseitigen dieser Störungen gehört zu den schwierigsten Aufgaben des physiologischen Experimentators, und nur derjenige kann für einen vorzüglichen Vivisector gelten, der diesen Aufgaben zu jeder Zeit gewachsen ist.

Man kann bis zu einem gewissen Grade das Viviseciren ebenso wie das Operiren am Menschen erlernen. Aber wie die Chirurgie nicht nur eine Wissenschaft, sondern auch eine Kunst ist, — ebenso ist auch das Viviseciren eine Kunst, die bei Weitem nicht jedem gegeben ist und nicht jedem beigebracht werden kann. Der

echte Vivisector muss an eine schwierige Vivisection mit derselben freudigen Aufregung, mit demselben Genusse treten, wie der Chirurg an eine schwierige Operation, von der er ausserordentlichen Erfolg erwartet. — Wer vor dem Seciren eines lebenden Thieres zurückscheut, wer zu einer Vivisection wie zu einer unangenehmen Nothwendigkeit schreitet, der wird wohl die eine oder die andere Vivisection wiederholen können, aber nie ein Künstler im Viviseciren werden. Wer nicht mit freudiger Spannung stundenlang irgend einen feinen, kaum mit blossem Auge sichbtaren Nervenfaden in die Tiefe, womöglich noch bis zu einer neuen Verzweigung zu verfolgen vermag, wer keinen Genuss empfindet, wenn er ihn endlich, von den Nachbartheilen getrennt und isolirt, der electrischen Reizung unterwerfen kann, oder wenn er in einer tiefen Höhle, nur von dem Tastgefühle der Fingerspitzen geleitet, ein ganz unsichtbares Gefäss unterbindet und durchschneidet, dem fehlt das Nothwendigste zum erfolgreichen Vivisector. Die Freude über die überwundenen, früher für unüberwindlich gehaltenen technischen Schwierigkeiten — bietet immer einen der höchsten Genüsse des Vivisectors. Und das Gefühl, welches der Physiologe empfindet, wenn er aus einer unheimlich aussehenden, mit Blut und zerstörtem Gewebe gefüllten Wunde irgend einen feinen Nervenzweig hervorholt und durch Erregung eine Function ins Leben ruft, die schon erloschen war, — diese Empfinduug hat Vieles mit derjenigen gemein, welche den Bildhauer beseelt, wenn er aus einer ungeformten Marmormasse schöne lebendige Formen herausbildet.

„Le physiologiste," sagt einer der ersten Vivisectoren, Claude Bernard, in seiner „Introduction à l'étude de la médicine expérimentale" p. 180, „n'est pas un homme du monde, c'est un savant, c'est un homme qui est saisi et absorbé par une idée scientifique qu'il poursuit: il n'entend plus les cris des animaux, il ne voit plus le sang qui coule, il ne voit que son idée et n'aperçoit que des organismes qui lui cachent les problèmes qu'il veut découvrir". —

C. Für den Erfolg einer Vivisection ist es von der grössten Wichtigkeit, die vorbereitenden Anordnungen mit der grössten Sorgfalt zu treffen. Die erforderlichen chirurgischen Instrumente sind, ehe man zum Versuche schreitet, sorgfältig zu sammeln und in der Reihenfolge zu ordnen, in welcher sie zur Anwendung kommen sollen. Wünschenswerth ist es, Duplicate gleich bei der Hand zu haben. Die für den Gebrauch nothwendigen physicalischen Apparate sind jedesmal vor dem Versuche auf ihre Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit zu prüfen. Das Thier muss sorgfältig befestigt, der Sectionstisch in die Lage gebracht werden, in welcher die zu untersuchende Gegend sich für den Experimentator unter den günstigsten Bedingungen befindet. Schwämme verschiedener Grösse, gut gewichste Fäden verschiedener Länge und Stärke, mehrere Geschirre mit Wasser, Handtücher — alles Das muss schon bereit sein, ehe zur Vivisection geschritten wird. Je mehr Sorgfalt auf diese Vorbereitungen verwendet wird, desto eher werden störende Zwischenfälle beim Versuche ausbleiben und desto wahrscheinlicher wird der Erfolg der vorgenommenenen Vivisection. Auf die Details solcher Vorbereitungen wird später bei den einzelnen Versuchsgruppen speciell eingegangen werden. —

D. Nicht weniger wichtig für den Erfolg der physiologischen Versuche ist eine geschickte und intelligente Assistenz. Auch in dieser Hinsicht könnten die physiologischen Assistenten sich die chirurgischen als Vorbild nehmen. Der

Assistent muss mit dem nächsten Zwecke der Vivisection, mit dem Ausführungsplane derselben, sowie mit der Anatomie der betreffenden Gegend und der Handhabung der physicalischen Apparate durchaus vertraut sein. Er muss genau jede Bewegung des Vivisectors verfolgen und im Stande sein, das in jedem Augenblicke Nothwendige zu thun, ohne eine Aufforderung abzuwarten. Nach dem Gange der Vivisection muss er errathen, welches Instrument er reichen, wann er mit einem Schwamme über die Wunde fahren, einen Faden durchziehen muss, wann ein im Wege stehender Muskel bei Seite zu schieben ist etc. Dies Alles muss er ohne ausdrückliches Verlangen, nur den Fingern des Operirenden nachgehend, immer im richtigen Momente thun. Fehlt eine solche zuverlässige Assistenz, so nehme man seine Zuflucht zu mechanischen Assistenzmitteln, unter welchen obenan die auf Fig. 8, Tafel IV abgebildeten, mit Gewichten beschwerten Haken stehen. Denn nichts ist für eine Vivisection störender und für deren Erfolg hinderlicher, als ein ungeschickter, nicht zur rechten Zeit eintreffender Beistand.

§. V. Untersuchung der vom Organismus getrennten Organe.

Wenn es einerseits höchst wünschenswerth erscheint, ein Organ im physiologischen Zusammenhange mit den Nachbarorganen prüfen zu können, so kommt es andererseits auch nicht selten vor, dass eben die Abhängigkeit der einen Function von allen übrigen der Untersuchung im Wege steht. Das Eingreifen der einzelnen Verrichtungen in einander ist oft so verwickelt, dass man in den Fällen, wo es sich um die Beobachtung eines einzelnen einfachen Vorganges handelt, entweder schon bei der Versuchsanstellung selbst auf unüberwindliche Schwierigkeiten stösst, oder eine sichere Deutung der gesammelten Beobachtungen geradezu als eine Unmöglichkeit aufgeben muss. Um blos die frappantesten Beispiele zu wählen, erinnern wir nur an die Schwierigkeiten, welche sich dem Studium der Eigenschaften der Ganglienzellen oder der in den einzelnen Organen vorsichgehenden chemischen Processe entgegenstellen: im ersteren Falle in Folge der Abhängigkeit der einzelnen Zellengruppe von allen benachbarten, im letzteren wegen der ausserordentlichen Complicirtheit der chemischen Vorgänge im Organismus, welche gewöhnlich ihren vollen Ablauf erst in einer grossen Reihe von Organen nehmen. In derartigen Fällen ist ein erfolgreiches Studium nur dann möglich, wenn es gelingt, jene Organe isolirt, d. h. getrennt vom Körper des Thieres, einer physiologischen Versuchsreihe zu unterwerfen. Dass ein solches Gelingen nur bei einer sehr beschränkten Anzahl von Organen zu erwarten ist, versteht sich von selbst. Aber auch bei denen, wo man diese Hoffnung hegen darf, ist vorher festzustellen, in wie fern man berechtigt ist, aus solchen, an ausgeschnittenen Organen angestellten Untersuchungen auf die normalen Lebenseigenschaften derselben Rückschlüsse zu ziehen.

Je weiter die physiologische Forschung in das innere Wesen der im lebenden Organismus stattfindenden Vorgänge eingedrungen ist, desto fester und sicherer ist die allgemeine Ueberzeugung geworden, dass diese Vorgänge in letzter Instanz von denselben physicalischen und chemischen Kräften beherrscht werden, welche in der anorganischen Natur thätig sind. Und wenn auch diese Kräfte hier in einer Verwickelung und unter Bedingungen wirken, welche nur dem lebenden Organismus eigen sind, und die Hoffnung, die Biologie zur angewandten Physik und Chemie umzugestalten, sich als eitles Bestreben erwiesen hat, so ist dadurch

doch das Grundprincip nicht erschüttert worden, von welchem jede fruchtbare Erforschung des Lebens ausgehen muss, — dass nämlich jede vitale Erscheinung in ihrer letzten Zergliederung nur der Effect verschiedenartiger Einwirkung derselben potentiellen und kinetischen Kräfte ist, welche die ganze anorganische Welt beherrschen.

Ist man einmal von der Wahrheit dieses Grundsatzes durchdrungen, so wird man auch keine Scheu hegen, die an ausgeschnittenen Organen gewonnenen Ergebnisse als solche zu betrachten, welche auf die Lebensvorgänge bezogen werden können.

Es liegt auf der Hand, dass der erste Anstoss zu einer derartigen Untersuchungsweise durch die Beobachtung desjenigen Organs gegeben werden musste, welches ohne äusseres Zuthun seine Function auch ausserhalb des Organismus einige Zeit fortzusetzen vermag, — des Herzens. — In der That ist das Herz das erste Object gewesen, welches, aus dem anatomischen Zusammenhange mit den übrigen Organen herausgerissen, Gegenstand des physiologischen Versuches wurde.

Als Anfänge dieser Untersuchungsmethode können also die ersten Beobachtungen am ausgeschnittenen Herzen betrachtet werden, welche schon vor Jahrhunderten von Anatomen und Physiologen angestellt worden sind. Zu derselben Reihe von Untersuchungen können auch in weiterem Sinne die Beobachtungen der elektrischen Erscheinungen im thierischen Gewebe gerechnet werden, wie sie seit Galvani gemacht zu werden pflegen.

Wenn aber die eigentlichen Anfänge dieser Methode auch sehr weit zurückversetzt werden müssen, so gehört doch die Ausbildung derselben zu einer vollkommeneren Gestalt ganz der neuen Zeit an. Denn wenn eine Untersuchung der vom übrigen Organismus getrennten Theile von unserem jetzigen Standpunkte bei der Beurtheilung physiologischer Vorgänge auch vollkommen gerechtfertigt erscheint, so ist doch ihr Werth, was die Uebertragung ihrer Ergebnisse auf normale lebende Organe betrifft, zuerst davon abhängig, in wie weit es gelungen ist, die normalen Bedingungen, unter welchen das betreffende Organ im Organismus functionirt, auch ausserhalb desselben herzustellen. Dadurch, dass es der modernen Physiologie gelungen ist, die erloschenen Lebensbedingungen künstlich wieder zu schaffen, ist ihr zugleich die Möglichkeit gegeben worden, in das Gebiet solcher Untersuchungen auch Organe hineinzuziehen, deren Lebensfunctionen sonst gleich bei der Entfernung aus dem Organismus zu erlöschen pflegen. Ausser dem Herzen sind wir im Stande, die Leber, den Muskel, die Lunge etc. ausgeschnitten aus dem Körper dem physiologischen Experiment zu unterziehen. Die Einführung und Ausbildung der Methoden für eine solche Untersuchung ausgeschnittener Organe verdankt die Physiologie Ludwig.

Der erste Versuch, die Function eines ausgeschnittenen Organs unter möglichst normalen Bedingungen wieder herzustellen resp. längere Zeit zu unterhalten, ist von mir im Jahre 1865 auf Ludwigs Veranlassung und mittelst von ihm angegebener Methoden am Herzen angestellt worden. Obgleich der nähere Zweck der betreffenden Untersuchung darin bestand, den Einfluss zu eruiren, welchen die Veränderungen der Temperatur auf die nervösen Centralorgane des Herzens auszuüben im Stande sind, und dieser Zweck also auch erreichbar schien, wenn nur die übrigen Bedingungen, unter denen das Herz arbeitete, obgleich weit von den

normalen entfernt, doch während der ganzen Versuchsreihe constant erhalten worden wären — so stellte sich dabei doch bald die Nothwendigkeit heraus, das ausgeschnittene Herz in soweit als möglich normale Verhältnisse zu bringen. Sollte nämlich diese Untersuchung fruchtbringend sein, so war erforderlich: erstens, dass das Herz längere Zeit (5—10 und mehr Stunden) in voller Function erhalten wurde, und zweitens, dass ein Mittel aufgefunden wurde, um am ausgeschnittenen Froschherzen mit denselben exacten Messinstrumenten (Manometer, Kymographion etc.) arbeiten zu können, wie an dem nicht ausgeschnittenen Herzen der grösseren Säugethiere. Nach langen Bemühungen gelang es, diesen beiden Erfordernissen dadurch Genüge zu leisten, dass in die Aorta und V. cava des Froschherzens Canülen [1]) eingebunden, welche dann durch ein communicirendes Röhrensystem mit einander verbunden wurden. Das Herz sowohl wie dieses Röhrensystem wurde mit frischem Kaninchenserum gefüllt, welches sich für die Ernährung des Froschherzens als sehr passend herausstellte. So wurde eine künstliche Circulation geschaffen, bei welcher das Herz, indem es die Flüssigkeit in fortwährender Bewegung erhielt, sich selbst immer frisches Ernährungsmaterial zuführte. Durch eine seitliche Verzweigung der aus der Aorta abgehenden Röhre konnte das Herz mit einem kleinen Manometer in Verbindung gesetzt werden, welches an einer rotirenden Trommel die Stärke und Zahl seiner Contractionen verzeichnete. Unter diesen Bedingungen arbeitete das ausgeschnittene Froschherz stundenlang fort (oft bis 24 und mehr Stunden), wenn nur für zeitgemässen Wechsel des unbrauchbar gewordenen Serums Sorge getragen wurde.

Das Gelingen dieses ersten Versuches, ein ausgeschnittenes Organ unter möglichst normalen Bedingungen weiter functioniren zu lassen, hat natürlich den Anstoss gegeben, auch an anderen Organen Aehnliches zu erproben. Es sind auch seitdem (fast ausschliesslich in dem Laboratorium von Ludwig) viele Organe dieser Untersuchungsweise unterzogen worden und meistens mit einem dem Versuchszwecke entsprechenden Erfolge. Die Untersuchungen von A. Schmidt über Athmung der ausgeschnittenen Muskeln und Nieren, von J. J. Müller über den Gaswechsel der Lunge, von J. Coats, Bowditch und Luciani u. A. über das Herz, von J. Schmulevitsch über die Gallenabsonderung in der Leber und von mir über Harnstoffbildung in der Leber, sind sämmtlich an ausgeschnittenen Organen angestellt worden, deren weiteres Functioniren durch verschiedene Vorrichtungen künstlich unterhalten wurde.

An der Spitze dieser Vorrichtungen steht die Unterhaltung der Circulation und der normalen Körpertemperatur. Auf die Mittel hierzu wollen wir näher eingehen. Als oberste Bedingung dafür, dass ein Organ seine Function fortsetzt, muss die Durchleitung einer sich immer erneuernden Blutmenge betrachtet werden. Dieses das Organ durchströmende Blut hat für dessen Function eine doppelte Bedeutung: 1) giebt es dem durchströmten Gewebe diejenigen Nährstoffe, welcher es zu seinem Fortbestehen bedarf, 2) führt es ihm das Material zu, das es bei seinem Functioniren verbraucht. Diese doppelte Bestimmung der Blutzuführung kann auch die Nothwendigkeit verschiedenartiger Zusammensetzung des durch das Organ zu leitenden Blutes bedingen. Handelt es sich nur darum, mit Hilfe

1) Siehe § VIII, Capitel II.

des durchströmenden Blutes das Organ bei seiner Leistungsfähigkeit zu erhalten, so kann gewöhnliches frisches defibrinirtes Blut (von derselben Thiergattung) verwendet werden. Kommt es aber darauf an, gewisse chemische Veränderungen zu studiren, welche das Blut erleidet, indem es ein functionirendes Organ durchströmt, so kann es nothwendig erscheinen, dem durchzuleitenden Blute gewisse Stoffe beizumengen. Die Wahl dieser Stoffe wird natürlich durch den jedesmaligen Zweck der Untersuchung bestimmt. Was die Menge des durchzuleitenden Blutes, den Druck, unter welchem es sich fortbewegen soll, und die Geschwindigkeit des Durchströmens betrifft, so lassen sich diese Momente natürlich auch nicht für alle Fälle vorausbestimmen. Soll das Blut bei dem Durchströmen der Organe gewisse wichtige chemische Veränderungen erleiden, z. B. wenn es durch eine Drüse geführt wird, so bedarf man einer anderen Geschwindigkeit, als wenn es nur zur Ernährung des Gewebes selbst dienen soll. Dasselbe gilt auch vom Drucke, obgleich dessen Schwankungen ziemlich enge Grenzen gezogen sind. Da die kleineren Gefässe an ausgeschnittenen Organen dem Blutstrom gewöhnlich nicht unbedeutenden Widerstand bieten, so wird man selten mit einem Drucke unter 70 bis 80 mm. Quecksilbersäule zum Ziele gelangen. Dagegen darf man meistens auch keinen höheren Druck als 120—130 mm. wählen, da sonst leicht Risse in den Gefässen und Blutextravasate in die Gewebe entstehen können. Bei Drüsenorganen muss die Höhe des Druckes nicht nur nach der Menge des durchzuleitenden Blutes festgesetzt, sondern es muss hier auch in Rücksicht gezogen werden, dass eine bestimmte Spannung des Blutes in den Gefässen durchaus erforderlich ist, um gewisse Absonderungen hervorzurufen, und dass man in manchen Fällen durch künstliche Steigerung des Blutdruckes eine stockende Absonderung von Neuem hervorrufen, eine geschwächte — steigern kann.

Eine zweite Hauptbedingung für die Fortdauer des annähernd normalen Functionirens in einem ausgeschnittenen Organe ist fast in allen Fällen eine möglichst genaue Erhaltung seiner Temperatur auf der gewohnten Wärmehöhe. Dabei ist es ausserdem noch erforderlich, dass bei der Entfernung des Organs aus dem Körper und während seiner Ueberführung in die für den Versuch vorbereiteten Vorrichtungen keine bedeutendere Abkühlung stattfindet. Die zu wählende Temperatur muss der mittleren Körpertemperatur des Thieres, also beim Kaninchen etwa + 39° C., bei Hunden etwa +37°—38° C. gleichgemacht und während der ganzen Versuchsdauer constant erhalten werden.

Was die Mittel anbetrifft, diesen Hauptbedingungen Genüge zu leisten, so sind dieselben sehr einfach und leicht herzustellen. Um die Circulation unter beliebigem Drucke in einem Organ zu unterhalten, benutzt man am besten gewöhnliche, zu histologischen Injectionen in Anwendung kommende, mit Quecksilber gefüllte Druckflaschen.

Diese Apparate bestehen bekanntlich aus zwei Flaschen, von welchen die erste (Druckflasche), nur mit Quecksilber gefüllt, oben frei mit der Luft und unten mittelst einer beweglichen Kautschukröhre mit dem Quecksilber der zweiten Flasche communicirt. Diese enthält nur wenig Quecksilber und ist zum grössten Theile mit der durchzutreibenden Flüssigkeit gefüllt. Ausser ihren Communicationsröhren, der unteren für die Druckflasche und der oberen für die mit den Blutgefässen in Verbindung stehenden Röhren, muss diese Flasche hermetisch geschlossen bleiben.

Das Blut wird aus dieser Flasche durch den Druck in Bewegung gesetzt, welcher gleich ist dem Höhenunterschiede der Quecksilberniveau's in den beiden Flaschen (der Druck der in der Injectionsflasche befindlichen Blutsäule kann ausser Acht gelassen werden). Diese Grösse stellt also die Triebkraft dar, welche im Körper von den Herzcontractionen ausgeht; sie muss bei jedem Versuche nach den oben ausgesprochenen Grundsätzen verschieden gewählt werden und während der Untersuchungsdauer (soweit die Bedingungen derselben nicht das Gegentheil erheischen) möglichst constant bleiben.

Um im Stande zu sein, die Druckhöhe des durchzutreibenden Blutes genau zu bestimmen, ist es nothwendig:

1) den Stand des Quecksilbers in der Druckflasche beliebig höher als in der Injectionsflasche stellen zu können;

2) der durch das Uebergehen des Quecksilbers aus der Druckflasche in die Injectionsflasche entstehenden Druckerniedrigung entweder durch Emporheben der Druckflasche oder durch Nachfüllen von Quecksilber allmählich soweit entgegenzutreten, dass der Druck constant bleibt;

3) an einem, an der Austrittsstelle des Blutes aus der Injectionsflasche angebrachten Manometer mit Scala in jedem Augenblicke die Druckhöhe ablesen zu können. (Dieser Druck kann nicht einfach aus der Unterschiedshöhe des Quecksilbers in den beiden Flaschen (gleich der Triebkraft) bestimmt werden, da er nicht nur durch die Grösse dieser Kraft, sondern auch durch die Stärke der Widerstände bedingt wird, welche dem Durchgange des Blutes durch die Gefässbahnen sich entgegenstellen.)

Auf Taf. V sind zwei Apparate abgezeichnet, welche in der befriedigendsten Weise die eben gestellten Aufgaben lösen. Fig. 1 stellt einen Apparat dar, welchen ich zu den oben erwähnten Durchleitungsversuchen verschieden temperirten Blutes durch die Hirngefässe construiren liess.

Die Einrichtung desselben ist sehr einfach. *C* stellt die Druckflasche dar, über eine Rolle aufgehängt, welche auf einem Gestelle steht, mit dem es durch das Räderwerk in verticaler Richtung allmählich hinauf- und hinabgewunden werden kann. *E* und *F* sind zwei Injectionsflaschen (in meinem Falle für verschieden temperirtes Blut), *D* das Manometer, *G* und *G'* zwei Thermometer, welche die Temperatur des in den Flaschen enthaltenen Blutes anzeigen, und *H* die mit den Blutgefässen zu verbindende Canüle. —

Fig. 2 zeigt eine andere zu demselben Zweck dienende Einrichtung, wie sie in Ludwig's Laboratorium zuerst in Anwendung gekommen ist. Die Druckflasche steht hier auf einem hölzernen Brett, das in einen eisernen Schlitten *D* ausläuft, welcher sich auf einer Schiene *A* leicht bewegen lässt. Dieser Schlitten trägt in seiner Mitte eine Mutterschraube, durch welche eine Windungsschraube mit wenig Steigung durchgeht. Durch Drehung dieser Schrauben nach oben oder nach unten wird der Schlitten allmählich und ohne Stösse in Bewegung gesetzt. Bedarf man eines höheren Druckes, als der Abstand der beiden Flaschen, wenn sie sich in der gezeichneten Lage befinden, es erlaubt, so kann die Injectionsflasche einfach auf den Tisch gestellt werden, wobei das früher besetzte Brett mit einem Gegengewicht belastet werden muss.

Hat man keine Vorrichtungen zur Hand, die es gestatten, die Druckflasche allmählich

ohne Stösse zu bewegen, so ist es viel rathsamer, den Druck nicht durch Bewegung der Flaschen, sondern durch allmähliches Zugiessen von Quecksilber constant zu erhalten. Man verfährt dabei auf folgende Weise: Oberhalb der Druckflasche befestigt man einen grossen Glastrichter, der unten in eine frei in die obere Oeffnung der Druckflasche hineingehende Kautschukröhre ausläuft. Der Trichter wird mit Quecksilber gefüllt und die Kautschukröhre mit einer Klemme verschlossen, wie Fig. 6 auf Taf. VI eine zeigt. Sobald das Quecksilber aus der Druckflasche in die Injectionsflasche überzugehen beginnt, löst man ein wenig die Klemme und lässt das Quecksilber in die Druckflasche hinunterträufeln. Durch mehr oder weniger weites Oeffnen der Klemme kann man es leicht dazu bringen, dass in der Zeiteinheit gerade so viel Quecksilber in die Druckflasche hinein-, wie aus ihr hinausfliesst. Man kann auch sehr gut zu solchen Zwecken den Wasserdruck benutzen; indem man z. B. die eine auf verschiedene Höhen einzustellende Flasche (wie auf Taf. V, Fig. 1 die Flasche *C*) durch einen Kautschukschlauch mit einer zum Theil mit Wasser gefüllten Flasche in Verbindung setzt; diese letztere muss nun mit einer mit Blut gefüllten Flasche derart communiciren, dass die aus ihr durch den Druck der Wassersäule getriebene Luft in diese hineingeht und das Blut vor sich in das betreffende Blutgefäss des ausgeschnittenen Organs jagt.

Um die Temperatur des ausgeschnittenen Organs auf der erforderlichen Höhe zu erhalten, muss man es erstens in einen Behälter bringen, der vorher schon bis zu dem erwünschten Grade erwärmt worden ist, und zweitens die Injectionsflaschen in mit warmem Wasser gefüllte Gefässe hineinstellen, damit auch das in das Organ hineinströmende Blut schon die nöthige Temperatur besitze. (Als solche Behälter sind oft mit Vortheil ähnliche Vorrichtungen zu verwenden, wie die gewöhnlich für künstliche Brütung gebrauchten.)

Die Injectionsflaschen werden am besten in doppelwandige Gefässe gestellt, wie sie in Fig. 1 Taf. V abgebildet sind, durch die ein fortdauernder Wasserstrom von gewünschter Temperatur geleitet wird. Es ist empfehlenswerth, diese Gefässe in schlechte Wärmeleiter einzuhüllen und so vor Abkühlung zu schützen. In die Injectionsflaschen eingesetzte Thermometer zeigen die Temperatur des ausfliessenden Blutes an. Zur Regulirung der constant zu erhaltenden Temperatur des Behälters und der Gefässe bediene man sich der unten auf Tafel X, Fig. 4 gezeichneten und im dritten Capitel beschriebenen vorzüglichen Gasregulatoren.

Was nun den allgemeinen Gang des Versuches anbelangt, so ist derselbe folgender:

Nachdem sämmtliche Vorrichtungen in Stand gesetzt worden sind, schreite man zur Sammlung von Blut, das am besten von einem anderen Thiere durch Oeffnung der Art. Carotis genommen und durch fleissiges Schlagen mit Holz- oder Glasstäben schon während des Ausflusses sorgfältig defibrinirt wird. Hat man das defibrinirte Blut gesammelt und vermittelst Filtrirung durch ein mehrfach zusammengelegtes Stück reiner Leinwand völlig von Fibrin befreit, so schreite man zur Füllung der Injectionsflaschen, deren man am besten mehrere für den Versuch vorräthig hat. Diese Füllung geschieht am leichtesten durch Aufsaugung. Nachdem man die Injectionsflaschen von der Druckflasche aus mit Quecksilber vollständig gefüllt hat, steckt man das Kautschukrohr, welches mit den Arteriencanülen in Verbindung gesetzt werden soll, in das mit defibrinirtem Blute gefüllte Gefäss

hinein. Dabei sorge man dafür, dass das Ende des Kautschukrohres mit einer Glascanüle versehen ist, damit deren Oeffnung sich nicht bei zu heftiger Aspiration verschliesse. Die Aspiration geschieht einfach so, dass die Druckflasche langsam tiefer als die Injectionsflasche gesenkt wird, wodurch das Quecksilber aus der letzteren in die erstere übergeht und das Blut in die Injectionsflasche fliesst. Diese ganze Operation muss langsam und vorsichtig geschehen, da sonst die nachgiebigen Kautschukwände leicht zusammenklappen und den Durchtritt des Blutes verhindern. Auch muss sorgfältig jeder Lufteintritt verhütet resp. bei zufälligem Eintritt sofort wieder entfernt werden. Es ist zu diesem Zwecke rathsam, in dem Korke, welcher die Injectionsflasche verschliesst, noch eine dritte Oeffnung zu besitzen, in die ein Glasrohr hermetisch eingelassen ist, das mit einem kurzen Kautschukrohre in Verbindung steht und durch eine Klemme oder einen Glasstöpsel verschliessbar ist. Durch diese Oeffnung kann mittelst einer Spritze sowohl der Füllung nachgeholfen als auch jede Luftblase entfernt werden. Sie kann aber auch zur Neufüllung der Injectionsflasche benutzt werden, wenn alles Blut aus derselben in das Organ hineingetrieben ist. Kann dasselbe Blut noch einmal durch das Organ geleitet werden, so verbindet man diese Röhre mit einem der Aspirationscylinder, von welchen gleich die Rede sein wird.

Da bei solchen Versuchen mindestens zwei Gehülfen nothwendig sind, so überlässt man am besten die Füllung der Flaschen dem Einen und schreitet selbst zur Präparation des betreffenden Organs. Die Präparation, die Einbindung der Canülen, die Unterbindung der Gefässe muss am lebenden Thiere vor der Entfernung des Organs aus dem Körper geschehen. Man verfährt dabei folgendermassen: Nachdem das Organ blossgelegt ist, werden dessen Arterien aufgesucht und in dieselben Glascanülen nach den in § XI angegebenen Regeln eingebunden. Ist dies geschehen, so füllt man sie mit defibrinirtem Blute und verschliesst die Kautschukenden dieser Glasröhren mittelst Klemmpincetten. Dann bindet man Canülen in die Venen ein, und nachdem man das in ihnen etwa enthaltene Blut sorgfältig entfernt hat, füllt man auch sie mit defibrinirtem Blute und verschliesst sie. Sodann wird das ganze Organ aus dem Zusammenhange mit den Nachbartheilen gelöst, schnell herausgenommen und in den erwärmten Behälter gebracht. (Bei Versuchen an ausgeschnittenen Muskeln können meistens die Canülen erst nach der Entfernung derselben aus dem Körper eingeführt werden.) Die Arterien müssen *vor* den Venen unterbunden werden, damit so wenig als möglich Blut im Organe zurückbleibt; sonst treten Gerinnungen ein, welche in vielen Bezirken des Organs bedeutende Störungen verursachen. Während dieser ganzen Operation muss das Organ vor Verdunstung sorgfältig geschützt werden. Man erreicht dies am besten, wenn man von Zeit zu Zeit über dasselbe einen in einer Mischung von Blut und 1 % Kochsalz-Lösung getränkten Schwamm ausdrückt. Ist das Organ bereits im Behälter eingeschlossen, so muss man auch in demselben durch nasse Schwämme oder Fliesspapier die Atmosphäre feucht zu erhalten suchen. (Sehr geeignet ist dazu auch das unten beschriebene Verfahren, um eine feuchte Kammer für elektrophysiologische Versuche herzustellen.) Von einiger Schwierigkeit bei diesen Versuchen ist das Verhüten des Lufteintritts in die Gefässcanülen, während sie mit den Röhren der Injectionsflasche in Verbindung gebracht werden. Ueber das sicherste Verfahren, derartige, oft sehr störende Zwischenfälle zu vermeiden, siehe unten

§ XI. Aus denselben Rücksichten empfiehlt es sich auch, die verbindenden Kautschukröhren an mehreren Stellen durch Glasröhren zu unterbrechen, wodurch vorhandene Luftblasen leicht bemerkt und durch zeitweilige Lösung der Verbindungen entfernt werden können.

Es kommen bei solchen Versuchen oft Fälle vor, in denen ein besonders lebhafter Blutstrom durch das Gewebe sehr wünschenswerth erscheint, der Strom aber trotz eines nicht unbedeutenden Druckes nur sehr träge ist und das Ausfliessen des Blutes aus den offenen Venencanülen häufige Stockungen erleidet. Die Ursache davon liegt in den Verengerungen der kleinen Gefässbahnen, welche in ausgeschnittenen Organen sehr häufig vorkommen und die dem Strome grossen Widerstand entgegenstellen. Durch einen sehr einfachen Kunstgriff kann man oft in solchen Fällen den Strom beliebig beschleunigen, indem man nämlich an die Ausflusscanüle einen Aspirationsapparat von folgender Einrichtung anbringt. Man verbindet die unteren Enden zweier an beiden Seiten offener Glashohlcylinder mit einer starken Kautschukröhre und füllt die letzteren bis zur Mitte mit Quecksilber. Von den oberen Enden dieser Hohlcylinder lässt man das eine frei und verbindet das andere mit der Venencanüle. Indem man nun den freien Cylinder allmälich senkt, erzeugt man in dem mit der Vene verbundenen einen negativen Druck, durch welchen das Blut aus derselben herausgesogen wird. Man ersetzt also gewissermaassen damit die für das Venensystem im Körper so wichtige Aspiration der Brusthöhle. (Solche Aspirationsflaschen sind in der erwähnten Arbeit von A. Schmidt abgebildet.) Will man das hindurchgetriebene Blut nochmals durch das Organ leiten, so genügt es, von der Röhre des Aspirationscylinders, welche zu der Vene geht, eine andere Kautschukröhre sich gabelförmig abzweigen zu lassen und mit der obenerwähnten dritten Oeffnungsröhre der Injectionsflasche in Verbindung zu setzen. Indem man sie frei macht, wenn das Blut aus dem Aspirationscylinder in die Injectionsflasche abgeführt werden soll, senkt man allmählich die Druckflasche und hebt dagegen ebenso allmählich den freien Hohlcylinder. Hierdurch wird in der Injectionsflasche ein negativer, in dem früheren Aspirationscylinder ein positiver Druck erzeugt. Unter dem Einfluss dieser Drücke wird das Blut aus dem letzteren in die erste übergeführt.

Von den Vorrichtungen, welche bei den Untersuchungen des ausgeschnittenen Herzens in Anwendung kommen, sowie von deren Benutzungsweise wird im zweiten Capitel § VIII ausführlich gehandelt werden.

§ VI. Wahl des Versuchsthieres.

Eine der ersten Fragen, welche dem Experimentator beim Unternehmen einer vivisectorischen Versuchsreihe zur Entscheidung vorliegt, ist die, welche Thierart er zu wählen hat. Die Thiere, welche am häufigsten zu physiologischen Experimenten verwendet werden, sind Frösche, Hunde und Kaninchen; sodann kommen Vögel, Katzen, Pferde, Ziegen, Schafe etc.

Bei einer grossen Reihe von Versuchen ist die Frage über die zu wählende Thierart schon von vornherein durch deren Zweck entschieden. So z. B. ist es meistens selbstverständlich, dass zu elektrophysiologischen Versuchen Frösche, zur Beobachtung der Effecte von Gefässnervenwirkungen mit dem blossen Auge am häufigsten Kaninchen, für Anlegung von Fisteln vorzugsweise Hunde, für Gehirn-

abtragungen Vögel gewählt werden. In anderen Fällen wird die Wahl des Versuchsthieres durch gewisse anatomische Bedingungen bestimmt. Für Versuche am Halssympathicus können keine Hunde verwendet werden, wegen seines Zusammenlaufes in einer gemeinschaftlichen Scheide mit dem Vagus. Für Versuche über die beschleunigenden Herznerven muss dagegen dem Hunde der Vorzug gegeben werden, weil diese feinen Nervenzweige sich hier leichter am lebenden Thiere herauspräpariren und reizen lassen. Handelt es sich um Versuche über Herzganglien, so werden Frösche und Schildkröten bevorzugt werden müssen, da bei ihnen Blosslegung und sogar Entfernung des Herzens aus dem Körper am wenigsten dessen normale Functionen trübt. Ebenso ist der Frosch für die meisten Versuche über reflectorische Thätigkeit des Rückenmarkes zu wählen, da dieses Thier Verletzungen und Durchschneidungen der Centraltheile am besten verträgt. Ihm verdanken wir auch die meisten Kenntnisse von der allgemeinen Physiologie der Muskeln, sowohl was Elasticität, Arbeit, als auch was die chemischen Eigenschaften des Muskels anbetrifft. Für Versuche über die speciellen Functionen der Hirnnerven, des Sympathicus, über Blutdruck, Geschwindigkeit des Blutstromes etc. sind fast nur Hunde, Kaninchen und sonstige Säugethiere verwendbar. Wie man sieht, lassen sich keine allgemeinen Regeln aufstellen, nach denen die Wahl des Versuchsthieres sich zu richten hätte. Manches Thier, das sich für einen Versuch am brauchbarsten erweist, wenn er zur eigenen Belehrung unternommen wird, muss einem anderen den Vorrang abtreten, wenn es sich darum handelt, dasselbe Experiment einem grösseren Zuhörerkreise zu demonstriren. Es wird dem Experimentator übrigens kaum Schwierigkeiten bieten, im gegebenen Falle sich zu entscheiden, ob er zu einem warmblütigen oder einem kaltblütigen Thiere greifen soll. Nur die Wahl zwischen den verschiedenen Säugethieren kann bisweilen schwieriger zu treffen sein. Man glaube nämlich ja nicht, dass diese Wahl ganz gleichgültig sei. Wenn auch die allgemeinen Eigenschaften der Gewebe und sogar die speciellen Bestimmungen der einzelnen Organe bei den gewöhnlich zu Versuchen benutzten Säugethieren meistens identisch sind, — so kommen doch jeder Thiergattung gewisse Eigenthümlichkeiten zu, welche speciell von den äusseren und den inneren Bedingungen, in welchen jene sich befindet, abhängig sind. Abgesehen von den bedeutenden Unterschieden, welche in den Ernährungsvorgängen bei Gras- und Fleischfressern vorkommen und bei allen Versuchen über Ernährung und Athmung genau in Betracht gezogen werden müssen, giebt es auch eine Reihe anderer Verschiedenheiten, welche beim Experimentiren durchaus zu berücksichtigen sind. Viele dieser Verschiedenheiten sind rein anatomischer Natur, wie z. B. der Gang und die Anastomosen verschiedener Nervenfasern; andere haben auch einen rein physiologischen Charakter; so z. B. weicht der Einfluss der Nn. Splanchici auf die Gefässe des Unterleibes und mithin auch auf die ganze Circulation quantitativ bei Hunden bedeutend von dem bei Kaninchen ab; ja sogar bei verschiedenen Hunderacen ist dies Verhältniss, welches ja so wichtig für das Studium der Rückenmarkseinflüsse auf die allgemeinen Circulationsverhältnisse ist, sehr mannigfach.

Schreitet man daher zu einer neuen Untersuchung, bei der die Wahl des Thieres durch das bisherige Wissen allein nicht entschieden werden kann, so muss man zuerst die betreffenden Partieen bei den verschiedenen zur Auswahl stehenden Arten anatomisch genau untersuchen. Oft wird dabei schon die Wahl bedingt

werden, entweder durch bequemere anatomische Lage, durch leichtere Zugänglichkeit oder durch gewisse Unterschiede im anatomischen Bau der Theile. Ist dieses nicht der Fall, so entscheiden gewöhnlich die ersten probeweise bei einigen Thieren angestellten Versuche. Wenn sich dabei auch nur in Ausnahmsfällen wirkliche functionelle Verschiedenheiten ergeben, so wird sich dagegen häufig die Wahl durch andere secundäre Momente entscheiden, wie grössere Resistenz gegen die gesetzten Verletzungen, leichtere Erregbarkeit, grössere Schärfe der erhaltenen Resultate etc.

Einigermaassen lassen sich diese secundären Momente an der Hand der jetzt vorhandenen Erfahrungen schon im Voraus bestimmen. So z. B. ist es festgestellt, dass Kaninchen meistens viel schärfere Reactionen auf Erregungen der Nerven des vegetativen Lebens geben, als Hunde; wo es sich also um unbedeutende und schnell vorübergehende Effecte handelt, ist zu den ersteren Thieren zu greifen. Dasselbe gilt, wo es darauf ankommt, die unmittelbaren Folgen von Rückenmarksdurchschneidungen oder Gehirnverletzungen zu beobachten. Andererseits ist Hunden der Vorzug zu geben, wenn es sich darum handelt, die Nachwirkungen schwerer Verletzungen (besonders des Rückenmarkes) beim überlebenden Thiere zu studiren, da Hunde, besonders jüngere, solche Operationen besser vertragen als Kaninchen. Was die Resistenz gegen schwerere Verletzungen anbelangt, so sind, soweit die Erfahrungen anderer Forscher mir bekannt, Katzen besonders zu empfehlen. Eigene Erfahrung besitze ich in dieser Hinsicht nicht, da ein Abscheu gegen diese Thiere mich immer verhindert hat, an ihnen zu experimentiren.

Die Verschiedenheit der Thiergattungen ist aber bei weitem nicht das einzige Moment, welches bei der Wahl in's Auge gefasst werden muss. Es kommen bei ein- und derselben Thiergattung oft bedeutende individuelle Verschiedenheiten vor, welche den eingreifendsten Einfluss auf das Ergebniss des Versuches auszuüben vermögen. Jede Erscheinung im lebenden Organismus ist das Resultat eines solchen Complexes von Kräften, dass eine geringe individuelle Abweichung oft die Gestaltung irgend eines Vorganges ganz verändern kann. Solche Veränderungen könnten natürlich für die Deutung der Erscheinung selbst vom grössten Nutzen sein, wenn wir im Stande wären, die Natur der individuellen Abweichungen zu präcisiren und bei der Schlussfolgerung mit in Rechnung zu ziehen. Denn je gestaltenreicher sich uns eine Erscheinung darbietet, desto mehr Angriffspunkte besitzen wir, um über die sie beherrschenden Kräfte ins Klare zu kommen. Dieses ist aber nur dann der Fall, wenn wir es vermögen, die Ursachen der verschiedenen Gestaltungen zu finden, im entgegengesetzten Falle wird uns die Deutung dadurch bedeutend erschwert. Nun sind wir aber über die Natur solcher individueller Abweichungen sehr häufig vollständig im Dunkeln und daher oft gezwungen, wo wir auf solche scheinbare Ausnahmen stossen, die betreffenden Versuche zu den misslungenen zu zählen; nicht etwa darum, weil sie wirklich solche sind, sondern weil wir uns ausser Stande befinden, die vielleicht an sich sehr lehrreichen Erscheinungen zu verwerthen. Man darf jedoch ähnliche Versuche nicht zu übereilt als verfehlte aufgeben, sondern richte seinen ganzen Scharfsinn darauf, den möglichen Ursachen der Abweichung auf die Spur zu kommen. Die verwendete Mühe wird häufig durch die unerwartetsten Aufschlüsse auf das Reichlichste

belohnt; denn gerade solche Ausnahmefälle führen oft auf den wahren Grund einer Erscheinung.

Von den bekannten Ursachen individueller Verschiedenheiten sind hauptsächlich folgende zu berücksichtigen:

1) Das Alter der Thiere, welches besonders bei Hunden von grossem Einflusse bei Vivisectionen sein kann.

In allen Fällen, wo es sich darum handelt, dem Thiere grössere Verletzungen, die es überleben soll, beizubringen und es vornehmlich auf schnelle Heilung von Wunden, auf das Verwachsen getrennter Theile etc. ankommt, sind jüngere Individuen unbedingt vorzuziehen. Dasselbe gilt auch natürlich für Versuche über die Genitalorgane, besonders bei männlichen Subjecten. Oft wird das zu wählende Alter der Thiere schon durch den Charakter der betreffenden Versuche angezeigt. Eine verfehlte Wahl kann hier zu den grössten Irrthümern Veranlassung geben. (Ich will nur als Beispiel die Abweichungen in den Resultaten erwähnen, welche bei der Untersuchung der Nerven der Gebärmutter sich ergaben, Abweichungen, die hauptsächlich davon herrührten, dass die Einen (Schlesinger, Oser u. A.) an jungen, noch jungfräulichen Subjecten, die Anderen (Obernier, Körner, Scherschevsky unter meiner Leitung) an schwangeren oder eben niedergekommenen experimentirt haben; die Ersteren haben daher Steifungen des Uterus für Bewegungen gehalten, welche nur durch die Contraction der Gefässe bedingt waren.)

Im Allgemeinen sind junge Subjecte viel lebhafter, erregbarer als ältere; ihr Nervensystem reagirt gewöhnlich schon auf viel geringere Reize, und die bei ihnen erhaltenen Reactionen sind auch weit schärfer ausgeprägt, als bei älteren.

2) Die Nahrung, welche das Thier zu sich nimmt, ist auch bei vielen Versuchen sorgfältig in Betracht zu ziehen. In allen Untersuchungen über Ernährungsvorgänge, über Secretionen etc. ist selbstverständlich die Quantität der genossenen Nahrung von entschiedenem Einflusse auf den Erfolg der Versuche. Dies bedarf hier keiner weiteren Auseinandersetzung. Doch auch bei anderen Versuchen muss öfter auf die vom Thiere eingenommene Nahrung Acht gegeben werden. So z. B. treten beim Hunde bei einigen Fütterungsweisen viel leichter Blutgerinnungen ein, als bei andern. Bei den meisten Versuchen über Circulation sind also unzweckmässig gefütterte Thiere besser zu vermeiden.

3) Die Jahreszeit ist von allen erwähnten Momenten vielleicht dasjenige, welches bei gewissen physiologischen Untersuchungen am meisten zu berücksichtigen ist. Den grössten Einfluss übt die Jahreszeit auf den Frosch aus; und da er das am häufigsten gebrauchte Versuchsthier ist, so ist natürlich die Kenntniss dieser Einflüsse von der grössten Bedeutung für dessen Wahl als Untersuchungsobject. Diese Einflüsse sind von Bedeutung nicht nur bei elektrophysiologischen, sondern auch bei vielen anderen Versuchen. Sämmtliche Experimente, welche überhaupt an Fröschen angestellt zu werden pflegen, bedürfen kräftiger, leistungsfähiger Thiere, die nicht zu reizbar sind (mit Ausnahme einiger Versuche) und deren Theile, wenn sie auch blossgelegt und sogar aus dem Körper entfernt, noch längere Zeit functionsfähig bleiben. Solche Frösche erhält man aber bei weitem nicht zu allen Jahreszeiten. Wir wollen vorläufig von den künstlich während des

Winters aufbewahrten Fröschen und dem Einflusse dieser Aufbewahrung ganz absehen, da wir darauf im nächsten Paragraphen zurückkommen, und nur den Zustand der frei lebenden Frösche während der verschiedenen Jahreszeiten betrachten.

Am untauglichsten sind die Frühjahrsfrösche in den Monaten März und April. Während der Zeit ihrer Brunst sind die Frösche gleich unbrauchbar für alle Versuchsarten. Die elektrischen Eigenschaften der Nerven und Muskeln sind bedeutend geschwächt und erlöschen, sobald diese aus dem Körper entfernt sind, ziemlich schnell. Nicht besser steht es mit ihrer Erregbarkeit; wenn auch oft schwache direct angebrachte Reize genügen, um ihre Thätigkeit hervorzurufen, so erschöpft sich ihre Reizbarkeit schon nach den ersten Erregungen sehr bald. Ebenso wenig tauglich sind solche Frösche für Reflexversuche. Ihre Reactionen gegen reflectorische Reize sind im höchsten Grade träge und launisch, wahrscheinlich wegen der verminderten Leistungsfähigkeit der centralen Nervenmassen. Die meisten dieser Individuen sind stark abgemagert oder hydropisch.

(Bemerkenswerth ist es, dass diese Unbrauchbarkeit der Frühlingsfrösche im Norden eine noch bedeutendere ist als in den mittleren Zonen. Dies hängt vielleicht theilweise von den grösseren Temperaturschwankungen ab.)

Die in jeder Hinsicht vorzüglichsten Frösche sind die Herbstfrösche, vom September bis Ende November. Sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Resistenz ist bei ihnen sehr hoch. Sie vertragen ausgezeichnet Verletzungen jeder Art; ausgeschnittene Nerven und Muskeln bewahren bei sorgfältiger Ueberwachung ihre elektromotorischen Fähigkeiten sehr lange, die Erregbarkeit ist zwar nicht exorbitant, dafür aber auch deren Erschöpfbarkeit ziemlich gering.

Sommerfrösche haben den Vorzug grösserer Reizbarkeit, sind dagegen, besonders an sehr heissen Tagen, schnell erschöpfbar; ihre Leistungsfähigkeit ist freilich sehr bedeutend, jedoch ihre Resistenz gegen äussere Schädigungen geringer, als bei Winterfröschen. Für einige elektrophysiologische Versuche sind nur sehr reizbare Sommerfrösche brauchbar, so z. B. für einige Versuche über secundäre Zuckung etc. In gleichem Maasse sind solche Frösche für das Studium der negativen Stromesschwankung, welche bei ihnen am intensivsten ist, am besten verwendbar.

Winterfrösche, d. h. solche, welche im Winter frisch eingefangen werden [1]), sind zwar weniger reizbar und besitzen auch geringere elektromorische Eigenschaften als die Sommerfrösche, dafür sind sie aber gegen äussere Beschädigungen resistenzfähiger. Nach Pflüger's Erfahrungen sollen im Gegentheil die Winterfrösche reizbarer, die Sommerfrösche leistungsfähiger sein. Diese Abweichung wird vielleicht daher rühren, dass seine Angaben sich auf überwinterte Frösche beziehen.

Natürlich schliessen die hier angegebenen allgemeinen Regeln nicht die Möglichkeit individueller Ausnahmen aus. Diese sind aber jedenfalls sehr selten. — Ebenso wenig ist es bei Säugethieren indifferent, zu welcher Jahreszeit die Versuche an ihnen vorgenommen werden. Auch bei ihnen giebt es gewisse Perioden, in denen sie für das Experimentiren untauglich sind, z. B. die Brunstperiode.

4) Die Species der zum Versuche gewählten Thiergattung ist bei einigen

---

1) Solche frisch eingefangenen Frösche erhalten wir sogar in Petersburg den ganzen Winter über aus einem 3 Meilen entfernten Bergstrom in Finnland, der nie gefriert.

Thieren nicht ohne Bedeutung für ihre Verwendbarkeit. So z. B. ist von Fröschen die R. temporaria fast ganz unbrauchbar, sowohl wegen ihrer Kleinheit als auch wegen ihrer relativ geringen Lebenszähigkeit. Die R. esculenta dagegen ist diejenige, welche überall bevorzugt wird. Bei der R. esculenta giebt es aber noch eine ganze Reihe Unterarten, deren Brauchbarkeit für physiologische Zwecke nicht immer gleich ist. In gewissen Gegenden sind die Frösche viel grösser und lebenszäher, als in anderen; der Unterschied ist oft so gross, dass man in einigen Gegenden gezwungen ist, die R. esculenta von auswärts zu beziehen — Berlin, Leipzig und einige andere Städte Mitteldeutschlands sind die beliebtesten Bezugsstellen. Die grössten Frösche, welchen ich überhaupt begegnet bin, befinden sich in den mittleren Gouvernements Russlands (Koursk etc.).

Was Kaninchen anbelangt, so sind zwar alle Arten mit mehr oder weniger Nutzen zu gebrauchen; die tauglichsten sind aber gewiss die französischen, und zwar sowohl die gewöhnlichen als auch die Abkömmlinge von Kreuzungen mit Hasen. Sehr kleine Kaninchen sind zu vermeiden, da sie nicht nur für die Vivisection schwieriger sind, sondern auch nur selten schwere Verletzungen vertragen.

Von Hunden sind einfache Hof- und Schäferhunde, Bulldoggen und Pudel die vorzüglichsten für Vivisectionen, besonders zur Anlegung von Fisteln; Schooßhundchen sind für schwerere Operationen ganz zu vermeiden.

§. VII. Aufbewahrung und Fütterung der Versuchsthiere.

Eine sorgfältige Pflege und zweckmässige Fütterung der Versuchsthiere ist sowohl für die Möglichkeit, immer passende Untersuchsobjecte bei der Hand zu haben, als insbesondere für die Gewinnung reiner Beobachtungsresultate an schon operirten Thieren von hoher Wichtigkeit. Kein Experimentator sollte es verschmähen, durch persönliche Ueberwachung dafür Sorge zu tragen, dass die Thiere immer unter Lebensbedingungen gestellt werden, die ihrem Wesen am meisten entsprechen.

„Die anorganische Physik", sagt Du Bois Reymond, „verschmäht es nicht, sich mit den besten Vorschriften zur Verfertigung ihrer Beobachtungswerkzeuge, Thermometer, Barometer etc. bis ins Einzelnste zu befassen; ich halte es daher nicht unter der Würde der organischen Physik, sich über das Verfahren Aufschluss zu verschaffen, wie ihr absolutes Organ, der Frosch, ... am leichstesten und besten, trotz dem Wechsel der Jahreszeiten, das ganze Jahr hindurch in hinreichender Menge und tauglichem Zustande zu erhalten sei."

Wenden wir uns zuerst zu den Mitteln, Frösche auf die beste Weise aufzubewahren.

Es giebt dazu hauptsächlich zwei Verfahren und zwar auf trockenem und auf feuchtem Wege. Einige Physiologen, wie z. B. Du Bois Reymond, ziehen die erstere, andere — Pflüger u. A. — die zweite Methode vor. Jene besteht darin, dass man die Frösche in mit frischem Waldmoos gefüllte hölzerne Kasten, deren Wände mehrfach durchlöchert sind, aufbewahrt, und die Kasten in einen kalten Kellerraum stellt, um so einen Winterschlaf zu erzeugen. Nach dieser legt man die Frösche in flache irdene Gefässe, welche etwa einen halben Centimeter hoch mit Wasser gefüllt und mit Netzen überwunden werden. Das Wasser

ist oft zu wechseln, sowohl um den Unrath zu entfernen, als um die Thiere zu erfrischen. Zu demselben Zweck muss auch ein Strom frischen Wassers durch die hölzernen Kasten geleitet werden. In beiden Fällen ist es vortheilhaft, wenig Frösche in einem möglichst grossen Raume zu halten.

Wie gesagt, wird hier der einen, dort der anderen Methode der Vorzug gegeben. Soweit meine Erfahrungen reichen, sind beide mit Erfolg anwendbar, aber zu verschiedenen Zeiten. Handelt es sich darum, Frösche überwintern zu lassen, so wird man mit der trockenen Methode bessere Resultate erzielen, indem die Frösche dabei viel leistungsfähiger bleiben, besonders wenn in dem Raume, in dem sie aufbewahrt werden, die Temperatur sehr niedrig ist. Dann verfallen sie in wirklichen Winterschlaf und sind noch Ende Februar zu allen physiologischen Versuchen gut brauchbar. Die Mortalität ist bei ihnen, falls wirklicher Winterschlaf eingetreten, eine relativ geringe. Ehe man aber solche Frösche zum Versuche verwendet, müssen sie aus dem Keller für einige Tage in einen wärmeren Raum gebracht werden. Rathsam ist es dabei, sie nicht plötzlich aus dem Keller in das Arbeitszimmer hinein zu holen, sondern allmählich an immer wärmere Temperaturen zu gewöhnen. Dieses geschieht am besten, wenn man alle vier, fünf Stunden das vorher eiskalte Wasser, in welches man sie zuerst hineinbringt, durch immer wärmeres ersetzt, bis man am zweiten Tage auf + 12° bis + 13° kommt. Wird diese Vorsicht nicht beobachtet, so verfallen, wie schon Pflüger bemerkt, die plötzlich in die Zimmertemperatur gebrachten Frösche oft in heftige tetanische Krämpfe, unter welchen sie auch zu Grunde gehen. Die nasse Aufbewahrung liefert für die Ueberwinterung viel weniger gute Resultate; nicht nur gehen viele Exemplare dabei zu Grunde, sondern ein grosser Theil der überlebenden wird auch hydropisch und ist für Versuche sehr wenig resistenzfähig. Am besten ist es noch, das Wasser so kalt zu halten, dass die Frösche in eine Art Winterschlaf verfallen. Dagegen ist diese Methode sehr zu empfehlen für die Aufbewahrung der Frösche während kürzerer Zeiträume. Eine höchst zweckmässige Modification dieser Methode habe ich in den physiologischen Laboratorien zu Amsterdam und Rotterdam kennen gelernt. Diese besteht darin, dass man die Frösche in grossen Aquarien aufbewahrt, in welchen ein continuirlicher Wasserstrom von mässiger Stärke unterhalten wird. Durch hineingelegte Steine ist den Fröschen die Möglichkeit gewährt, nach Belieben im Wasser oder ausserhalb desselben zu sitzen. Solche Aquarien sind mit geringem Aufwande in allen Laboratorien, die eine Wasserleitung besitzen, herzustellen. Sie erhalten die Frösche monatelang in vollständig unverändertem Zustande und sind besonders für den Sommer ganz vorzüglich. Eine fast ideal vollkommene Art, die Frösche zu erhalten, besitzt das physiologische Laboratorium von Cl. Bernard im Jardin des Plantes; wie denn überhaupt auch die übrigen Thiere hier eine sogar luxuriös sorgfältige Pflege geniessen. Im Jardin des Plantes leben die Frösche in einem grossen Bassin, in welchem durch eine Fontaine eine fortwährende Bewegung des Wassers unterhalten wird. Das Bassin befindet sich im Garten und ist mit Gras, Moos etc. reichlich versehen.

Was den Unterhalt der Säugethiere betrifft, so gilt im Allgemeinen die Regel, möglichst günstige hygienische und diätetische Bedingungen herzustellen. Die Hunde müssen womöglich einzeln, jedenfalls nicht mehr als zwei oder drei

zusammen, in besonderen Käfigen gehalten werden. Die Käfige sind täglich vom Unrath zu reinigen; hierzu empfiehlt es sich, den Fussboden nicht aus Holz, sondern aus Blech oder Stein, mit Abflussröhren in der Mitte oder an den Seiten, verfertigen zu lassen. Wenigstens an einer Seite ist ein Gitter anzubringen, um Licht und Luft in genügender Menge eindringen zu lassen. Hunde, die noch nicht operirt worden sind, können zur Noth auch in gemeinschaftlichen Räumen in grösserer Anzahl aufbewahrt werden. Nur muss auch hier für Reinlichkeit und gute Ventilation Sorge getragen werden, die Fenstergitter müssen aus Eisen sein, da Hunde, wenn sie in grösserer Anzahl beisammen sind, nicht selten Fluchtversuche machen.

Wenn die Versuchsbedingungen nicht das Gegentheil gebieten, so müssen Hunde zwei Mal täglich gefüttert werden; am besten durch einen Brei aus Brod, Fleischstücken, Knochen etc.

Die Fütterung muss man dann und wann selbst überwachen, da die Laboratoriendiener oft ganz eigenthümliche Ansichten über die Diätetik solcher zum Tode verurtheilten Thiere hegen.

Eine ganz besonders aufmerksame Pflege verlangen Hunde (und auch andere Thiere), die dazu bestimmt sind, eine Operation zu überleben, z. B. bei Anlegung von Fisteln, Verwachsungen von Nerven etc. Will man wirklich Erfolge von solchen Versuchen erzielen, so darf der Experimentator es nicht verschmähen, mit der äussersten Sorgfalt selbst die Pflege der Thiere zu überwachen. Sehr häufig werden solche Thiere sich selbst überlassen; weder bringt man sie in besonders günstige Umstände, noch sorgt man für eine angemessene Heilung der Wunden. Dies ist ein Fehler, dessen Folgen der Experimentator oft genug durch Misslingen der Versuche zu büssen hat. Nicht nur müssen solche Hunde in besondere Käfige gebracht und besser gefüttert werden, sondern man muss ihre Heilung mit den gewöhnlichen in der Heilkunde anwendbaren Mitteln herbeizuführen suchen. Die Wunde muss sorgfältig überwacht und reingehalten werden; tritt Eiterung ein, so ist sie wiederholt mit desinficirenden Mitteln (am besten mit Carbolsäure oder Kali hypermanganicum) zu waschen; der Raum, in welchem das Thier sich befindet, muss sorgfältig gelüftet werden. Die Wahl der Nahrung muss sich nach dem allgemeinen Zustande des Thieres richten, besonders danach, ob Fieber eingetreten ist oder nicht. Der Hund muss durch Verbindung der Wunde oder durch Ankettung daran verhindert werden, die Wunde oder den etwa darin befindlichen fremden Körper (Canüle etc.) mit den Zähnen zu zerren; nur wenn die Heilung der Wunde einen günstigen Verlauf nimmt, kann man dem Thiere gestatten, sie zu belecken, da es damit die Wunde reinigt und die Vernarbung fördert.

Wird, mit einem Wort, die Nachbehandlung des Thieres sorgfältig geleitet, so erzielt man oft die erstaunlichsten Heilresultate; die Thiere vertragen häufig die schrecklichsten Verletzungen [1]) und genesen nicht selten in Fällen, wo jede

---

1) Der merkwürdigste Fall von Lebenszähigkeit eines Hundes, den ich beobachtet habe, war folgender: An einem grossen, sehr starken Hunde wurde zuerst, um den Nussbaum'schen Transfusionsapparat zu prüfen, eine Transfusion aus der Art. femoralis in die V. cruralis gemacht. Gleich darauf wollte ich an diesem Thiere eine Messung der Blutgeschwindigkeit in der Art. Carotis mittelst der Ludwig'schen Stromuhr ausführen. Der Versuch aber musste

Hoffnung auf einen glücklichen Ausgang, in Folge etwa bei der Operation aufgetretener störender Complicationen, aufgegeben werden musste.

Auf die besonderen Vorrichtungen, welche zu treffen sind, wenn die Hunde zu speciellen Fütterungsversuchen verwendet werden, kann hier natürlich nicht eingegangen werden.

Nicht mindere Sorgfalt muss auf die Unterhaltung von Kaninchen verwendet werden. Nur ist es bei ihnen vortheilhafter, grössere Mengen zusammenzuhalten, da bei ihrer ausnahmsweisen Fruchtbarkeit leicht eine wirkliche Zucht erhalten wird. Man bedarf daher nur einiger Käfige für solche Kaninchen, die zu besonderen Zwecken isolirt werden müssen; die übrigen halte man entweder in gut schliessenden Stallungen oder auf dem Boden, wobei freilich die Reinhaltung etwas erschwert wird. Im Falle ausbrechender Seuchen, die gerade nicht selten sind, müssen die gefallenen sofort entfernt und, wenn möglich, der Aufenthaltsort verändert werden.

Oft ist auch die Isolirung mehrer männlicher Subjecte angezeigt, die durch Liebeshändel bisweilen blutige Schlachten unter einander führen, welche die verheerendsten Zerstörungen zur Folge haben.

Gefüttert werden Kaninchen am zweckmässigsten mit Hafer oder feuchtem Kraut, Salat etc. Sollen sie zu manometrischen Versuchen verwendet werden, so ist Hafer zu vermeiden, da erfahrungsgemäss bei dieser Fütterungsart das Blut grosse Neigung zur Gerinnung erhält.

Tauben, Hühner etc. werden am besten in grossen, geräumigen Vogelbauern gehalten, welche in mehrere Stockwerke und Abtheilungen abgetheilt sind.

§. VIII. Befestigungsweisen der Versuchsthiere.

Ein vivisectorischer Versuch kann nur mit Erfolg ausgeführt werden, wenn das Thier in passendster Weise für die ganze Dauer der Operation unbeweglich fixirt ist. Daher die Nothwendigkeit, im Besitze von Mitteln zu sein, durch welche

---

unterbrochen werden, da durch ein Versehen eine Verstellung der Kugeln gemacht wurde, wodurch etwas Oel in das periphere Ende der Carotis gelangte. Das sonst nicht narcotisirte Thier wurde plötzlich soporös, wahrscheinlich in Folge der Oelembolien im Gehirne. Nun schritt ich dazu, an ihm einen Versuch über Reizbarkeit der vorderen Stränge des Rückenmarkes zu machen. Die Eröffnung der Wirbelsäule war wegen der sehr starken Musculatur von ziemlich bedeutender Blutung begleitet. Dieser Versuch, bei welchem zuerst das Rückenmark an der Höhe des siebenten Halswirbels getrennt, sodann ein ganzer Theil des Brustmarkes emporgehoben, dessen hintere Stränge sammt der grauen Substanz abgetragen und endlich die vorderen Stränge sowohl elektrisch als mechanisch gereizt wurden, gelang vollkommen. Nach Beendigung des Versuches wurde das Brustmark auch vom Lendenmark getrennt und ganz aus dem Wirbelkanal entfernt, die Wunde sorgfältig gereinigt und durch Nähte geschlossen. Dem befreiten und noch immer im soporösen Zustande befindlichen Thiere wurde eine ziemliche Menge frischen Wassers in den Magen geführt. Nach einigen Stunden erwachte das Thier, machte Bewegungsversuche mit den vorderen Extremitäten, konnte sich aber nicht weit fortschleppen, trank gierig Wasser, refüsirte indess die Aufnahme von Speisen. Es lebte noch einige Tage, wurde etwas munterer, bewegte sich auf den Vorderbeinen sehr mühselig, wedelte häufig mit dem Schwanze. Am vierten Tage nach der Operation wurde es durch Ersticken getödtet, um festzustellen, ob CO_2-Anhäufung Krämpfe in den unteren Extremitäten veranlassen würde (siehe die Arbeit von Aladoff).

man das Thier, ohne ihm grössere Unbehaglichkeiten oder Störungen der normalen Functionen zu verursachen, in der durch den Versuchszweck gebotenen Lage zu halten im Stande ist. So leicht es auch erscheinen mag, dieser Aufgabe zu genügen, so sind doch erst in der neuesten Zeit die zweckmässigsten Handgriffe und Vorrichtungen hierzu gefunden worden.

Hier werde ich nur diejenigen Methoden zur Befestigung der Thiere anführen, welche ich nach eigner Prüfung unter allen den in Anwendung kommenden als die zweckmässigsten gefunden habe.

Die Befestigungsweisen der Frösche sind sehr verschiedenartig, je nach den vorzunehmenden Versuchsarten. Soll der ganze Frosch für irgend einen Zweck unbeweglich gemacht werden, so befestigt man ihn am besten auf einem Korkbrett, das entweder frei, oder was noch zweckmässiger ist, an ein einfaches Holzbrettchen befestigt ist. Fünf dünne, gewöhnliche chirurgische Stecknadeln genügen, um ihn ganz immobil zu machen. Eine wird durch die Schnauze und vier werden durch die Pfoten gesteckt. Sämmtliche Stecknadeln müssen so gesteckt werden, dass sie mit der Längsrichtung der durchstochenen Theile einen möglichst stumpfen Winkel bilden — sonst gleiten die letzteren an den Stecknadeln hinauf.[1]) Je nach dem Versuchszwecke hat man das Thier auf Bauch oder Rücken zu legen, die Extremitäten mehr oder weniger zu spreizen. Soll irgend eine angreifende Operation am Thiere vorgenommen werden, z. B. Eröffnung der Wirbelsäule oder Bauchhöhle, so ist es zweckmässig, auch das Becken des Frosches zu fixiren; dies geschieht in der Weise, dass im Brett zu beiden Seiten des Beckens Löcher gebohrt werden, durch welche ein gewöhnlicher Draht mit beiden Enden nach unten durchgezogen wird; unter dem Brette wird dann der Draht so angezogen, dass der Frosch an das Brett angedrückt wird; sodann werden diese Enden spiralförmig zusammengedreht.

Will man auch die hinteren Extremitäten, z. B. für Myographionversuche, fixiren, so genügt es, dieselbe Befestigungsweise durch Drähte auch am Knie und am Fussgelenk anzuwenden.[2]) (Taf. XX, Fig. 2 zeigt einen auf die bezeichnete Weise befestigten Frosch.)

Bei Benutzung des Frosches für Beobachtungen der Circulation in den Schwimmhäuten macht man an der entsprechenden Stelle des Brettchens einen kreisförmigen Ausschnitt, entwickelt die Schwimmhaut, indem man die äussersten Finger mit Hülfe von Stecknadeln oder getrockneten Fichtennadeln von einander entfernt, und bringt das Brettchen auf den Objecttisch des Mikroskops, nachdem man vorher die Stecknadeln dicht an der Pfote mit einer Scheere abgeschnitten hat.

Ist man gezwungen, sich mit einem gewöhnlichen Brettchen zu begnügen, so benutze man statt der Stecknadeln kleine Messingnägelchen, wie die zum Fixiren des Papiers beim Zeichnen gebräuchlichen.

Soll der Frosch zu einfacheren Reflexversuchen verwendet werden, so hängt

---

1) Von Dr. Tiegel lernte ich, um den Frosch ganz ohne Blutverlust zu fixiren, ihm durch die Nasenlöcher einen Faden zu ziehen und mittelst desselben die Schnauze zu fixiren.

2) Dasselbe erreicht Dr. Tiegel, indem er zwei Stifte, die am Brette befestigt sind, zwischen den Sehnen des Triceps und dem Oberschenkelknochen nahe am Kniegelenk einsteckt.

man ihn mittelst eines durch die Schnauze gezogenen Fadens an den Armen eines Stativs auf, nachdem man ihn vorher enthirnt hat.

Wenn man die Absicht hat, die Reflexbewegungen genauer zu studieren oder den Frosch unenthirnt zu lassen, so befestige man ihn auf einem schmalen und kurzen, nur bis zum Unterleib reichenden Brettchen in der Weise, dass die Schnauze mit Nägeln, der Körper mit einem Paare Kautschukringe fixirt wird.

Soll nur ein Bein zur Beobachtung frei bleiben, so zieht man das andere Bein ebenfalls durch diese Ringe durch.

Eine sehr zweckmässige Fixirung solcher enthirnter Frösche ist in Ludwig's Laboratorium von W. Baxt erprobt worden. Sie besteht darin, dass man das Thier in einen Glastrichter bringt, dessen Fortsatz abgeschnitten ist; durch die freie untere Oeffnung wird dann das für den Versuch zu verwendende Bein hervorgezogen.

Bei Eröffnungen der Wirbelsäule des Frosches für einfachere Versuche, wie z. B. für Ch. Bell's Versuche, operirt man lieber aus freier Hand, indem man den Frosch in der linken Hand so festhält, dass die Wirbelsäule den prominentesten Theil seines Körpers ausmacht, und dann mit der rechten die Operation ausführt[1]).

Hunde werden entweder auf dem Sectionstisch selbst oder auf besonderen Brettern befestigt. Das Letztere ist im Allgemeinen vorzuziehen. Die dazu gebrauchten Vorrichtungen sind auf verschiedene Weise eingerichtet: entweder sie bestehen aus einem auf vier (einen halben Fuss hohen) Beinen ruhenden Tischchen, das etwa eine Elle breit und bis zwei Ellen lang ist; an den Rändern befinden sich Löcher zum Durchziehen der Stricke und in eine Abzugsröhre zusammenlaufende Rinnen. Man benutzt auch mit Vortheil zwei unter einem Winkel von 90—100° verbundene Holzplatten, etwa 1 Meter lang und 20 Centimeter breit. Die Platten ruhen mit ihrer Berührungskante auf einem horizontalen Stützbrett, auf welchem sie durch Strebeleisten festgehalten werden, und das mit einer Rinne zum Abfliessen des Unraths versehen ist. Sie besitzen zahlreiche Löcher zum Durchziehen der Riemen oder Stricke. (Vorrichtungen letzterer Art werden in den Laboratorien von Cl. Bernard, Vierordt u. A. gebraucht.) Bei Vierordt[2]) ist ausserdem die Einrichtung getroffen, dass die Bretter in 3—4 Stücke getheilt sind, welche sich leicht entfernen und mittelst Haken wieder ansetzen lassen. Dies hat den Vortheil, dass man dieselbe Vorrichtung für verschieden grosse Thiere verwenden und, was noch wichtiger, durch Entfernung einzelner Segmente beliebige Theile des Thieres, an denen man gerade operiren will, leicht zugänglich machen kann. (Auch an das früher erwähnte Tischchen lassen sich für Thiere verschiedener Grösse leicht noch einige Abtheilungen anbringen.)

Werden die Hunde an den Tischen direct befestigt, so wählt man vorzugsweise diejenigen, welche die Apparate für künstliche Athmung tragen. Sehr zweckmässig ist es auch, einen Tisch zu besitzen, der durch eine Schraubenvorrichtung gesenkt und gehoben werden kann. (Traube.) — Jedenfalls müssen solche Tische auch mit Rinnen und Löchern für den schon erwähnten Zweck versehen sein.

Ich habe diese Vorrichtungen erprobt und sie alle zweckentsprechend gefunden. Die ersteren haben aber den Vorzug leichterer Uebertragbarkeit, wodurch sie jedes-

1) Siehe auch im Capitel VI die Ausführung des Bell'schen Versuchs.

2) Aus einer freundlichen brieflichen Mittheilung bekannt.

mal in die Stellung gebracht werden können, welche der Verlauf des Versuches erheischt.

Für Versuche, welche grössere schmerzhafte Verletzungen an nicht narcotisirten Hunden erfordern, sind die eben beschriebenen kahnförmigen Vorrichtungen sehr bequem, da sie die Thiere viel unbeweglicher halten, als flache Tische.

Dagegen ist überall da, wo Apparate mit dem Thiere in Verbindung gesetzt werden sollen, wo die Thiere curarisirt sind und wo in der Tiefe der Organe präparirt werden soll, flachen Tischen der Vorzug zu geben.

Die Befestigung der Thiere an den Tischen geschieht entweder durch Riemen oder weiche dünne Schnüre; mit den ersteren verfährt man gewöhnlich so, dass der Riemen durch ein Loch hindurchgezogen, um das betreffende Bein im Fuss- oder Kniegelenk herumgeschlagen und durch das benachbarte Loch wieder nach unten gebracht wird, wo die beiden Enden mit Schnallen oder Stiften fest zu vereinigen sind.

Schnüre werden zuerst um den betreffenden Theil des Thieres durch einen Noeud coulant (Galgenknoten) befestigt und dann in einer Jägerschlinge, wie sie in der Fig 7 Taf. VII abgebildet ist, um denselben gelegt. Diese Schlinge hat bekanntlich das Eigenthümliche, dass sie um so fester sich zuzieht, jemehr man an ihr zerrt. Endlich werden die freien Enden der Stricke an einem Haken festgebunden.

Beim Festschnüren der vorderen Extremitäten ist es sehr rathsam, die Schnur der rechten Seite unter dem Körper des Thieres hin nach links, die der linken Seite auf dieselbe Weise nach rechts festzubinden; dadurch liegen die Extremitäten genau dem Körper an und sind vollkommen unbeweglich gemacht. Ueber die nothwendigen Abweichungen in der Lagerung der Thiere bei gewissen Vivisectionen wird an den bezüglichen Stellen gesprochen werden.

Der schwierigste Punkt des Fixirens von Hunden bestand ehedem in der Befestigung des Kopfes. Man behalf sich dabei auf die Art, dass dem Hunde ein runder Eisenstab zwischen die Zähne geschoben wurde, der an seinen beiden Enden zwei Löcher hatte. Durch diese zog man zwei starke Schnüre, welche zuerst in Achtertouren um die Schnauze herum hinter dem Stabe und dann mit ihren freien Enden an einem Haken, der vor dem Kopfe des Thieres sich befand, befestigt wurden.

Losreissen konnte sich ein so gefesseltes Thier nicht, da jeder Versuch, den Eisenstab nach vorne zu drängen, ganz vergeblich war, indem bei geschlossenen Kiefern die Vorderzähne ein unüberwindliches Hinderniss bildeten. — Diese einzige rationelle Befestigungsweise leidet aber an grossen Uebelständen, weil einerseits ihre Ausführung, besonders bei grösseren Hunden, mit vielen Schwierigkeiten verknüpft ist und andererseits, falls die Schnur losgeht, das Thier nur seine Mundhöhle zu öffnen braucht, um sich zu befreien.

Ein vorzüglich geeignetes Instrument zur Fixirung von Hündeköpfen ist der auf Taf. VI Fig. 1 und 2 abgebildete Kynolith. Derselbe ist von Cl. Bernard von jeher gebraucht und von mir 1869 in einer Weise verändert worden, dass er jetzt allen Anforderungen vollkommen genügt. Er besteht aus einem eisernen Ringe (*g*), der an der unteren Hälfte kreisförmig, an der oberen (*h*) oval und nach

oben zugespitzt ist; seine bandartigen Ränder tragen an den Seiten zwei lange Schlitze (*p*), die unten durch ein etwa 2 Cm. langes Zwischenstück getrennt sind. In diesen Schlitzen (*p*) bewegt sich mittelst einer Schraube (*d*) ein eiserner Halbring (*c*) mit flachen Rändern, dessen Krümmung etwa die Form des Hunde-Oberkiefers hat, und dessen unterer Rand mit Leder gepolstert ist. Durch diesen wird der grosse Ring in zwei Räume getheilt; der untere ist für die Aufnahme der Schnauze des Thieres bestimmt, dessen Unterkiefer auf der unteren Seite des Ringes (*g*) ruht. Durch Verstellung der Schraube (*d*) kann die Grösse dieses Raumes beliebig verändert und so verschiedenen Hunden angepasst werden. In den erwähnten Schlitzen (*p,p*) bewegen sich ausserdem zwei Eisenplättchen (*v,v*), welche in die mit einer Schnallenvorrichtung versehenen Riemen (*f,f*) auslaufen. Senkrecht auf dem zugespitzten Ende des Ringes (*h*) befindet sich ein Eisenstab (*b*), welcher in den am Tische (*a*) befestigten Halter (*m,m*) hineinpasst und durch Verstellung der Schrauben in verticaler, durch eine andere (auf der Zeichnung nicht sichtbare) Schraube in der Hülse (*q*) in horizontaler Richtung bewegt werden kann.

Der Gebrauch des Instrumentes bestand darin, dass, nachdem die Schnauze des Thieres in die untern Räume des Ringes hineingebracht war, durch Herunterdrehung der Schraube (*d*) die beiden Kiefern zusammengedrückt wurden; sodann passte man die beiden Eisenplättchen (*v,v*) an die Unterkieferknochen an und schnallte deren Riemen fest hinter dem Occiput zusammen. Schliesslich wurde der Stab mit dem Halter in Verbindung gesetzt. — Das Princip beruhte darauf, dass das Thier den Kopf nicht aus dem Ringe herausziehen konnte, da die Riemen seinen Hinterkopf nach vorne an den Ring anpressten.

Wenn aber das Thier auch den Kopf nicht leicht zu befreien vermochte und durch das Zusammendrücken der Kiefer am Beissen verhindert war, so liess doch diese Vorrichtung starke Bewegungen des Kopfes, besonders aber Drehbewegungen zu, welche das Operiren bedeutend erschwerten und bei sehr gewaltsamen Anstrengungen den Kopf durch Abgleiten der Riemen ganz losmachten. Um diesen Uebelständen abzuhelfen, habe ich an dem Instrumente folgende Abänderung getroffen. Ich liess durch die im Ringe befindlichen Spalten (*p*) einen runden Stab (*e*) durchziehen, der durch die Schraubenvorrichtung (*i*) fixirt wird. Dieser Stab wird hinter die Vorderzähne gelegt, nachdem die Schnauze sich schon im Ringe befindet und durch die Riemen festgehalten wird; ist er durchgeschoben und angeschraubt, so werden die Kiefer fester aneinandergedrückt, wodurch dieses Instrument in derselben Weise wirkt, wie die oben beschriebene Stange mit Schnüren. Das Princip der Wirkungsweise dieses Bernard'schen Kopfhalters ist also insofern verändert worden, als der Stützpunkt in die Unbeweglichkeit des Stabes hinter den Vorderzähnen, anstatt wie früher, in das Festhalten des Hinterkopfes verlegt wurde.

Dadurch ist auch das Instrument für den zu erfüllenden Zweck vollkommen ausreichend und lässt, was leichte Handlichkeit und absolute Fixirung des Kopfes anbetrifft, Nichts mehr zu wünschen übrig. — Etwas weniger vollkommen, aber doch für die weitaus meisten Fälle genügend, ist der von Czermak construirte Kaninchenkopfhalter.

Dieser hat mit dem eben beschriebenen das gemeinschaftlich, dass auch er aus zwei Theilen besteht: aus einem, in welchem die beiden Kiefern durch das An-

ziehen einer Schraube aneinandergepresst werden, und aus einem zweiten, welcher den ersten am Abgleiten verhindert.

Während im Hundehalter das Anpressen der Kiefer durch einen Ring bewerkstelligt wird, der vermittelst einer Schraubenvorrichtung erweitert oder verengert werden kann, geschieht dies im Czermak'schen Kaninchenhalter durch eine zangenartige Vorrichtung, welche die Form zweier Bügel hat, die mittelst einer Schraube beliebig aneinander gedrückt werden können.

Das Abgleiten des Halters wird sowohl hier, wie dort, durch die Einschiebung eines Stiftes hinter die geschlossenen Vorderzähne verhütet. Wenn dieses Abgleiten beim Kaninchen in einigen Fällen doch nicht zu vermeiden ist, während solches bei dem verbesserten Hundehalter nie vorzukommen pflegt, so hat diese Unvollkommenheit ihren Grund nicht in dem Halter selbst, sondern in dem Baue der Kaninchenzähne. Während beim Hunde die in einander greifenden Vorderzähne eine durch die stärksten vom Hunde ausgeübten Tractionen nicht zu überwindende Stütze abgeben, lassen die nur aneinanderliegenden, relativ schwachen Zähne des Kaninchens bei heftigen Bewegungen den Stab durchgleiten, wodurch natürlich der Kopfhalter ganz unnütz wird. Dieses Durchgleiten ist leicht möglich, wenn die eine Reihe Zähne durch heftiges Zerren sich etwas schief stellt und dieselben sich also nicht mehr mit ihren scharfen Rändern berühren. (Am Schlusse dieser Beschreibung wird ein Mittel angegeben werden, um diesem Uebelstande abzuhelfen.) Auf Taf. VII befinden sich vier Abbildungen dieses Kopfhalters. Fig. 3 und 4 stellen die zwei Bügel einzeln dar; der eine (Fig. 3) hat die dem Unterkiefer, der andere (Fig. 4) die dem Oberkiefer angepassten Krümmungen. Der letztere, ein geschlossener Rahmen (*HH*), trägt hinten die Schraube (*K*) mit der Schraubenmutter (*Z*), welche zum Zusammenpressen der Bügel dient Der erste bildet einen unvollständigen Rahmen, der hintern einen geradlinigen Spalt zwischen zwei Schenkelenden (*g,g*) trägt; dieser Spalt dient zur Aufnahme der Schraube (*K*). An den Rahmen (Fig. 4) ist rechtwinkelig ein hohler Zapfen (*F*) angesetzt, dem gegenüber auf dem anderen Schenkel sich eine Bohrung (*C*) befindet, welche beiderseits in kürzere Röhrenstücke ausläuft. Aehnlich besitzt auch die Bohrung des Zapfens (*F*) eine solche röhrenförmige Verlängerung. — Genau an den entsprechenden Stellen des zweiten Rahmens befinden sich zwei Löcher (*N* und *M*), die zur vollständigen Aufnahme der inneren Röhrenstücke dienen. (Siehe Fig. 2.)

Dieser Rahmen ist noch mit drei soliden Zapfen (F', F^2 und F^3) versehen und kann Dank der Spalte zwischen *g,g* leicht federn, wodurch man den anderen Bügel in ihn hineinzwängen kann, so dass *3* in *4* hineinpasst. Fig. 2 stellt diese Verbindung beider Rahmen dar, wodurch man eine Art Zange erhält, deren zweiarmige Hebel mit Hülfe der hohlen Axe drehbar sind; in diese wird der hinter die Nagezähne zu setzende Stift (*P*) so hineingeschoben, dass er gerade den Zapfen *F* ausfüllt. Die Anlegung des Kopfhalters geschieht in der Weise, dass man die Schnauze des Thieres in die geöffnete Zange so hineinschiebt, dass der Querstab (*a*) des einen Bügels (Fig. 4) auf die Stirn, der Stab a' (Fig. 3) auf den Unterkiefer zu liegen kommt. Sodann bringt man die Schnauze *k* in die Spalte (*g,g*) und schraubt die Mutter (*z*) um so weit herunter, dass die Schraube nicht mehr aus der Spalte hinausgleiten kann. Während man nun mit der linken Hand fortfährt, die Zange an der Schnauze zu fixiren, schiebt man mit der rechten den Stift (*P*) durch die

Oeffnung *b* in die Röhre bis zum Hohlzapfen *F*, und zwar so, dass er hinter den Nagezähnen zu liegen kommt, und dreht alsdann die Schraubenmutter herunter, bis die Zange das Oeffnen der Kiefer und somit die Entfernung der Zähne von einander unmöglich macht. (Siehe Fig. 1.)

Die Fixirung des Halters selbst geschieht in ähnlicher Weise wie beim Hunde. Die Zapfen F^2 und F^3 oder *F* und F^1 (je nach der Haltung, die man dem Kopfe geben will), werden in die Oeffnung der Gabel *E* (Fig. 1) hineingepasst und mittelst der Schraube *D*, welche bis in die Vertiefungen, mit denen die Zapfen versehen sind, reicht, befestigt. Der Stiel (*C*) dieser Gabel kommt in die Hülse (*O*), deren zweite Bohrung auf dem Stabe (*A*) des Kaninchenbrettes (*B*) beweglich ist. Die Einstellung dieses Stiels sowohl wie der Hülse geschieht ganz analog wie beim Hundehalter mittelst zweier Schrauben.

Wie man sieht, ist dieser Halter viel complicirter, als der beschriebene Hundehalter, und ist es daher gar nicht rathsam, sich nach dem Modell dieses Kaninchenhalters auch entsprechende für Hunde zu construiren, wie es Czermak empfiehlt. Das Umgekehrte, für Kaninchen Halter nach Art des Hundehalters anzufertigen, wäre eher anzurathen. Wenigstens kann man diesen Kaninchenhalter viel vollkommener machen, wenn man an ihm die Vorrichtung mit den Riemen zur Fixirung des Hinterkopfes anwendet, welche wir beim Hundehalter kennen gelernt haben, und die hier noch viel nothwendiger ist. —

Ich habe schon oben den Uebelstand erwähnt, welchen das leichte Durchrutschen der Stifte zwischen den Zähnen verursacht; dieser Uebelstand macht das beschriebene Instrument ganz untauglich bei Kaninchen, bei denen die unteren Zähne nicht bis zu den oberen reichen, in welchem Fall der Stift nur an der unteren Zahnreihe sich stützen kann. Czermak schlägt als Abhülfe gegen diesen Uebelstand das Einschieben eines Holzröhrchens hinter den Nagezähnen vor, um so dem Stifte eine festere Stütze zu geben. Dies reicht aber darum nicht immer aus, weil das Röhrchen selbst leicht durchbricht.

Man kann die Schwierigkeit jedoch auf eine ganz andere Weise beseitigen und das Hindurchrutschen des Zapfens nach vorne ganz unmöglich machen. Dies geschieht dadurch, dass man an den Zapfen *F* und den äusseren Röhrenstücken (*b*) zwei schmale, aber feste Riemen anbringen lässt, welche mit einer Schnalle hinter dem Occiput des Kaninchens, ganz in der oben beim Hunde beschriebenen Weise, befestigt werden. Dadurch bekommt der Kopfhalter eine zweite Stütze und wird das Vorwärtsbewegen des Stiftes ganz verhindert. Mit dieser unbedeutenden Zugabe zum Czermak'schen Kopfhalter wird das Instrument für alle Fälle vollkommen ausreichen.

Zur Befestigung des Kaninchens selbst bedient man sich am besten eines kleinen Tischchens (*B*) auf kurzen Beinen, wie er in Fig. 1 abgebildet ist; dieses Tischchen hat an seinem vorderen, dem Kopfe und Halstheil entsprechenden Theile ein viereckiges Fenster, das durch einen metallischen Rahmen begrenzt ist und durch eine genau hineinpassende dünne Metallplatte ausgefüllt werden kann. Diese Platte wird entfernt, wenn bei der Rückenlage des Thieres an den Halstheilen des Rückenmarkes manövrirt werden muss. An den Leisten dieses Rahmens wird die oben erwähnte Stange (*A*), welche den Kaninchenhalter trägt, befestigt, und zwar benutzt man dazu, je nach Bedürfniss, die vordere oder eine Seitenleiste;

im letzteren Falle werden in die Gabelzinken E statt der Zapfen F^2 und F^3 die Zapfen F und F' hineingelegt.

Auf Fig. 1 ist am Brette eine Stange a befestigt, welcher leicht eine beliebige Neigung und Stellung gegeben werden kann. Diese Stange, welche an der Seitenleiste des Rahmens leicht verschiebbar ist, ist von Czermak zur Befestigung der Hülse O, welche die Gabel E trägt, vorgeschlagen worden und kann in vielen Fällen mit Nutzen verwendet werden.

Dagegen ist der Vorschlag Czermak's, die Kaninchenbretter nur bis zur Halsgegend reichen zu lassen und den Eisenrahmen an deren vorderem Theile nur durch eine einzige Seitenleiste für die erwähnte Stange zu ersetzen, nicht practisch. Nur in einzelnen Ausnahmefällen, wo die Hals- und Kopfgegend von allen Seiten leicht zugänglich gemacht werden muss, wäre dieser Vorschlag annehmbar.

Am zweckmässigsten ist es daher, für alle Fälle den vorderen Theil des Kaninchenbrettes nur aus dem anschraubbaren Eisenrahmen mit Metallplatte zum Verschluss des Fensters bestehen zu lassen, um ihn nach Bedarf durch eine einzelne Seitenleiste ersetzen zu können.

Zur Befestigung der Kaninchenpfoten bedient man sich dünner Schnüre, deren Anlegung nach der beim Hunde beschriebenen Art geschieht. Die Schnüre selbst werden entweder durch die Löcher des Brettes oder, noch besser, durch die für Befestigung der Rouleauxschnüre üblichen Schrauben geleitet, von welchen die Hofmann'schen (Taf. VII Fig. 5) für physiologische Zwecke am häufigsten angewendet werden.

Katzen werden auf dieselbe Weise wie Kaninchen befestigt; für die Schnauze wählt man entweder einen kleineren Hundehalter oder einen vergrösserten Kaninchenhalter, dessen auf den Oberkiefer kommender Bügel etwas breiter und entsprechend gekrümmt ist.

An Pferden operirt man, indem man sie auf doppelte Weise unbeweglich macht. Entweder bleiben sie in stehender Position, oder man legt sie auf eine schiefe, aus festen Brettern bestehende Unterlage. Im ersteren Falle bedarf man bei complicirten Operationen eines besonderen Gerüstes, das aus einer Reihe sich kreuzender Balken besteht, von denen die einen an die Seitentheile, die anderen zwischen den Extremitäten auf der Bauchseite, die dritten auf den Rücken angepresst sind und mit Stricken festgebunden werden.

Den Kopf fixirt man mittelst der üblichen Eisenstangen, die mit starken Riemen zwischen den Kiefern eingebunden sind.

An Tauben, Hühnern etc. operirt man gewöhnlich, ohne sie vorher durch besondere Vorrichtungen zu fixiren. Der Operirende drückt sie mit dem flectirten linken Vorderarme etwas an die Brust, fixirt mit der linken Hand den Kopf und operirt mit der rechten. Will man sie ganz unbeweglich machen, so wickelt man sie vorher noch in ein Handtuch ein.

Auch an Kaninchen, Meerschweinen etc. können gewisse Operationen aus freier Hand ausgeführt werden, wie z. B. bei Stichen in die verschiedenen Theile des Gehirns u. dgl. m., wobei man die Thiere entweder durch einen Assistenten festhalten lässt oder auf die eben für Vögel angegebene Weise unbeweglich macht. Bei den Versuchen mit Anlegung von Fisteln wird eine besondere Vor-

richtung angegeben werden, um Thiere während des Sammelns der Secretionsflüssigkeiten bequem fixiren zu können.

§. IX. Hautschnitte. Allgemeine Präparationsregel. Unterbindung von Gefässen.

Beim Viviseciren stellt sich der Operirende gewöhnlich derart, dass seine rechte Seite der rechten des auf dem Rücken, und der linken des auf dem Bauche befestigten Thieres zugekehrt ist. Der Grund dieser Position liegt darin, dass fast sämmtliche Schnitte vom Kopfe nach den Füssen, also von vorne nach hinten geführt werden. Wenn demnach der Experimentator mit der rechten Hand operiren soll, so ist dies nur bei obiger Stellung mit Bequemlichkeit möglich.

Diese Regel erleidet aber einige Ausnahmen in den Fällen, wo z. B. die Operation an den oberen Theilen des Kopfes stattfinden soll; alsdann ist es zweckmässig, an der schmalen Seite des Tisches vor dem Thiere zu stehen.

Der Assistent steht gewöhnlich an der entgegengesetzten Seite, und zwar so, dass er dem Experimentator so wenig als möglich vom Lichte raubt.

Die günstigste Beleuchtung des Operationstisches ist die von oben oder von vorne, d. h. von der Kopfseite des Thieres. Jedenfalls muss es der Vivisector vermeiden, sich zwischen den Tisch und die Beleuchtungsquelle zu stellen.

Ehe man zur Ausführung des Schnittes schreitet, muss die betreffende Hautstelle sorgfältig von Haaren befreit werden, was am besten mit einer grossen convex gebogenen Scheere geschieht. Es ist dabei zu empfehlen, gleich von Anfang an das ganze Haar womöglich bis zur Haut wegzunehmen, da bei schichtweiser Abtragung die kleinen Haarspitzen schwer zu entfernen sind und später unvermeidlich die Wunde verunreinigen. (Das abgeschnittene Haar muss sorgfältig fern vom Vivisectionstische gehalten werden) Sodann wird über die abgeschorene Haut mit einem feuchten Schwamme gefahren, um sowohl die Haarreste mitzunehmen, als auch, um das an der Haut noch sitzen gebliebene Haar zu glätten. Die bei der Ausführung des Schnittes zu beobachtende Hand- und Fingerstellung ist auf Taf. VIII Fig. 1 genau wiedergegeben. Mit dem Daumen und dem Zeigefinger der linken Hand wird die Haut gespannt und mit der Rechten wird der Schnitt geführt. Man wählt zu Hautschnitten am besten Scalpelle, deren Schneiden convex gebaucht sind, und man hält sie mit allen Fingern derart fest, dass sich der Daumen an der einen und die vier übrigen Finger an der anderen Seite befinden.

Der Schnitt muss mit Sicherheit und einigem Drucke so geführt werden, dass die ganze Haut in der gewünschten Länge mit einem Male bis zum subcutanen Zellgewebe durchschnitten wird. Gezackte Hauträndor, wie sie bei unsicherer, sägender Messerführung erhalten werden, geben nicht nur der Wunde ein unsauberes Aussehen, sondern heilen auch sehr schwer, was natürlich bei vielen Vivisectionen in Erwägung zu ziehen ist.

Die Kraft, mit welcher das Messer an die Haut gedrückt werden muss, damit zwar diese ganz durchschnitten wird, die Musculatur aber unberührt bleibt, hängt natürlich von der Hautstärke, vom Reichthum des Unterhautgewebes an Fett etc. ab; bei einiger Uebung gelangt man schon dazu, diese Kraft genau abzumessen. Im Allgemeinen behalte man im Auge, dass die Haut auf der Rückenseite sowie an den Dorsalflächen viel stärker als an der Bauchseite und den

Vorderflächen ist; ebenso an der Streckseite stärker als an der Beugeseite. Ist die Haut durchschnitten, so müssen die Hauträndер mittelst Haken (Taf. IV Fig 4) oder mit der Hand von einander entfernt und zuerst sorgfältig untersucht werden, ob nicht irgendwo ein Hautgefäss verletzt ist; dazu ist es oft erforderlich, die Haut umzustülpen. Jede Blutung, und wenn es auch nur ein leichtes Durchsickern ist, muss sofort sei es durch Unterbindung des Gefässes, sei es durch Zusammendrücken der blutenden Stelle mittelst einer Pincette und mehrmalige Torsion derselben, gestillt werden. Man schreite ja nicht zur Fortsetzung der Operation, ehe man gegen jede, wenn auch noch so unbedeutende Blutung, vollkommen geschützt ist. Denn eine solche scheinbar geringe Vernachlässigung kann oft die ganze Vivisection gerade in dem Augenblicke vereiteln, wo man sie schon von Erfolg gekrönt zu sehen glaubt. Die Unterbindung geschieht in der Weise, dass man das blutende Gefäss mit einer Pincette fasst (wobei es rathsam ist, besonders bei kleineren Gefässen, soviel umliegende Zellgewebe mit zu ergreifen als nur möglich); der Assistent führt dann um die Pincette einen Faden mit einem doppelten sogenannten chirurgischen Knoten, und denselben immer enger zusammenziehend, schiebt er ihn über die Spitzen der Pincettenarme hinüber. Ist man überzeugt, dass der Faden diese passirt hat, so zieht man den Knoten ganz zusammen und legt noch einen zweiten Sicherheitsknoten an. Erst dann kann die Pincette vorsichtig entfernt werden.

Von der geschickten Ausführung solcher zwar sehr häufigen, aber oft sehr schwierigen Unterbindungen (z. B. wenn das Gefäss in der Tiefe liegt und man nur durch das Fühlen mit der Pincette geleitet wird) hängt nicht selten das Schicksal eines Versuches ab; es wird daher nicht überflüssig erscheinen, wenn ich hier noch einige kleine, aber höchst wichtige Handgriffe erwähne. Der Assistent muss bei Führung des Fadens die beiden Enden desselben mit beiden Händen, zwischen Daumen und Zeigefinger halten, und zwar so nahe als möglich am Knoten, dass die Nägel der Daumen die Pincette immer berühren. Je mehr also der Knoten, welcher nicht viel weiter als die umfasste Pincette sein darf, zusammengezogen wird, desto mehr nähern sich die Daumen einander, so dass sie beim vollständigen Zubinden sich ganz berühren.

Dies Verfahren ist aus doppeltem Grunde nothwendig: 1) hat man durch dieses Berühren der Pincette mit den Fingern die Möglichkeit, sich durch das Tastgefühl sicher leiten zu lassen, und 2), was noch wichtiger, man deplacirt dabei nicht die Pincette selbst ein Zwischenfall, der immer eintreten muss, wenn man mit den Händen nur die freien Enden des Fadens hält, wo also die kleinste Erschütterung der weit von einander entfernten Finger schon mit grosser Gewalt an der Pincette zerrt.

Ueberhaupt muss die Pincette während dieser ganzen Zeit vollständig unbeweglich gehalten werden, da man sehr oft das Gefäss nur an einem kurzen Abschnitt hält und es nicht selten misslingt, ein einmal losgelassenes Stück wieder zu erfassen. Daher ist es auch durchaus wichtig, nicht eher die Pincettenarme von einander zu entfernen, als bis man sich überzeugt hat, das das Gefäss wirklich festgebunden ist. Ist die betreffende Stelle dem Auge unzugänglich, so giebt es dazu nur ein Mittel; nachdem der Assistent sich durch das Tastgefühl der sich

berührenden Daumen und Zeigefinger vergewissert hat, dass der Knoten fest zusammengezogen ist, versucht der Operirende, die Pincettenarme loszulösen — ohne sie aber auch nur um das Geringste von der betreffenden Stelle zu entfernen; fühlt er, dass dem Auseinanderfedern der Arme sich irgend ein Widerstand entgegenstellt, so beweist dieses, dass der Knoten noch auf deren Spitzen zusammengebunden ist.

Es ist vortheilhaft, diese Probe (natürlich sehr vorsichtig) dann anzustellen, wenn der Sicherheitsknoten noch nicht angelegt ist, denn in diesem Falle kann man durch weiteres Hinuntergleitenlassen des Fadens noch das Ziel erreichen. Ist der Sicherheitsknoten schon befestigt, dann bleibt nichts übrig, als die Unterbindung von Neuem zu beginnen, wobei man nicht vergessen darf, ehe man einen neuen Faden einlegt, die Enden des alten bis zum Knoten abschneiden — sonst kommt später beim Zusammenziehen des neuen Knotens leicht Confusion zwischen den verschiedenen Fadenenden vor. Durch sorgfältiges Abschneiden dieser Enden wird fast immer auch der frühere Knoten zur Ablösung gebracht.

Die ganze Operation des Unterbindens muss zwar mit Ruhe, aber doch so schnell als nur möglich vollbracht werden; denn es ist für den die Pincette Haltenden höchst schwierig, seine Hand längere Zeit absolut unbeweglich zu bewahren, und auch das aufgegriffene Ende des Gefässes kann durch langes Zusammenquetschen in der Pincette endlich reissen und so dem Operator entgehen.

Hat man keinen Assistenten zur Hand, so kann man auch allein die Unterbindung auf die beschriebene Weise vornehmen; nur muss man in diesem Falle statt einer gewöhnlichen, eine Schieberpincette gebrauchen. — Befindet man sich einer Blutung gegenüber, deren Quelle man nicht sofort genau bestimmen kann, so muss zuerst eine Compression oder eine Ligatur en masse in der entsprechenden Richtung angelegt werden, durch deren vorsichtiges Nachlassen das blutende Gefäss ausfindig gemacht wird. Bei grösserer Uebung kann man mit derselben Hand, welche die Pincette hält, auch das Ligaturanlegen ausführen; auch die Zähne lassen sich im Nothfalle zum Anziehen des Fadens oder zur Fixirung der Pincette mit Nutzen verwenden.

Was die Richtung und Form der Hautschnitte anbelangt, so werden sie natürlich nur durch die von dem Versuche gegebenen Erfordernissen bedingt. In den weitaus meisten Fällen kommt man mit linear in gerader Richtung geführten Schnitten zum Ziele; nur in den selteneren werden halbmondförmige, Kreuz-Schnitte oder sogar Abtragungen eines Theiles der Haut geboten sein.

Ist einmal die Haut in gewünschter Weise durchschnitten und die etwa vorhandene Blutung gestillt, so kann man zur weiteren Verfolgung der Operation schreiten. Für das Verfahren, Muskeln zu trennen, Nerven und Gefässe herauszupräpariren, lassen sich selbstverständlich nur ganz allgemeine Regeln aufstellen. Wo es irgendwie angeht, muss man suchen, in die Tiefe nur durch Verschiebung und Beiseiteziehen der Muskeln zu gelangen. Die Trennung derselben darf also nur in ihren natürlichen Grenzen durch Zerreissung des sie verbindenden lockeren Bindegewebes mittelst stumpfer Nadeln oder des Messerstiels, ja sogar der Fingerspitzen vorgenommen werden. Es ist meistens besser, einen kleinen Umweg zu machen, um zu den gesuchten Theilen zu gelangen, als Muskeln zu zerschneiden. Die von einander getrennten Muskeln werden mit-

telst Haken seitwärts gezogen, um die tiefer liegenden Theile zugänglich zu machen.

Ist die Zerschneidung nicht zu umgehen, wenn man es mit einem breiten und flachen Muskel zu thun hat, so muss man suchen, die Trennung zwischen den Faserbündeln zu machen und auch soweit als möglich den Gebrauch schneidender Instrumente zu vermeiden. Dies gelingt oft sogar der Reihe nach bei mehreren über einander liegenden Muskeln, wenn auch ihre Faserungen sich kreuzen; so z. B. kann man bei Anlegung von Magenfisteln sämmtliche Bauchmuskeln parallel ihren Faserungen durchtrennen, ohne Blutung und beinahe ohne jede Verletzung ihrer Fasern.

Hat man es mit einem dickeren, rundlichen Muskel zu thun, so bleibt in einigen Fällen nichts übrig, als den Muskel zu zerschneiden. Dies kann in doppelter Weise ausgeführt werden: entweder man sucht das eine Ende des Muskels an seinem sehnigen Theile von dem Knochen zu entfernen, was keine Blutung veranlasst, wenn man nur ganz nahe am Knochen operirt und dabei, anstatt ihn einfach mit einem Male zu durchschneiden, dies allmählich durch schabende Bewegungen thut, — oder man unterbindet den Muskel an seiner dünneren Stelle mit zwei nahe bei einander liegenden, festen Schnüren und durchschneidet ihn zwischen diesen beiden Ligaturen. Wenn es eine sorgfältige Ausführung verlangt, so schreite man zu solchen Muskeldurchschneidungen ohne weiteres Zaudern. Diese Durchscheidungen führen, wenn sie nur ohne bedeutenden Blutverlust bewerkstelligt werden, keine besonders zu berücksichtigenden Versuchsbedingungen mit sich, bieten also ausser der Verunstaltung der Wunde sonst keine zu befürchtenden Complicationen. Bei kleineren Thieren (Tauben, Fröschen etc.) kann man solche Muskeldurchschneidungen schon viel dreister und meistens ohne die oben beschriebenen Vorsichtsmaassregeln vornehmen. Durch schabende Bewegung eines stumpfen Messers oder sogar des Messerstiels, mit festem Andrücken an das Muskelgewebe, entfernt man dasselbe ohne jede Blutung. Doch dürfen diese Bewegungen nur nach einer Richtung, und zwar von der Anheftungsstelle am Knochen zum Muskelbauche hin, gemacht werden.

Das Fettgewebe wird mit der Pincette weggerissen oder auch mit einem scharfen Instrumente weggeschnitten. Hat man es mit grösseren Stücken zu thun, wie z. B., wenn man in den Winkeln zwischen Subclavia und Arcus aortae operirt, so fasst man mit der Pincette einen grösseren Klumpen Fett, drückt ihn sammt den eingeschlossenen kleineren Gefässen fest zusammen und zieht ihn dann allmählich durch vorsichtige Schraubenbewegungen heraus.

Arterien und Venen, welche man auf dem Wege trifft, und die nicht zu umgehen sind, unterbindet man sorgfältig an zwei nahe liegenden Stellen und durchschneidet sie sodann in der Mitte. Zu diesem Zwecke führt man mittelst der Pincette oder der auf Tafel I Fig. 6, 8, 9 und 10, auf Tafel II Fig. 5 und 10 abgebildeten Nadeln die Fäden unter das Gefäss. Diese Nadeln werden dabei auf verschiedene Weise gehandhabt:

1. Durch das Oehr wird ein Faden derart durchgezogen, dass das eine Ende ganz kurz, das andere ziemlich lang ist; die beiden Enden werden soweit als möglich an die Nadel angedrückt, sodann wird diese vorsichtig mit ihrem oberen Ende unter das Gefäss geschoben, ohne dasselbe zu deplaciren oder zu zerren;

sobald sich das gekrümmte Ende der Nadel mit dem Oehre auf der anderen Seite des Gefässes zeigt, wird mit einer Pincette das längere Ende des Fadens nahe an derselben angefasst und festgehalten, während die Nadel vorsichtig auf demselben Wege zurückgezogen wird; dabei gleitet das kürzere Ende des Fadens aus dem Oehre heraus. Auf der Taf. VI Fig. 16 Nr. I ist dieser Hauptmoment des Handgriffes dargestellt. Man braucht nur noch mit der Pincette ein grösseres Stück des Fadens herüberzuziehen und dann die Unterbindung vorzunehmen.

Ehe man die Nadel unter das Gefäss führt, kann man sie noch zur sorgfältigen Präparation und Isolation des Gefässes benutzen.

2. Man präparirt zuvor das Gefäss mit der Nadel sorgfältig heraus und schiebt dann das gebogene Ende derselben unter das Gefäss hindurch; alsdann stellt man die Nadel so, dass sie mit der convexen Seite nach unten gerichtet ist, wobei sich das Oehr in der günstigen Lage zum Einfädeln darbietet. Es kommt dabei nicht selten vor, dass das Oehr durch ein zartes Zellgewebehäutchen verklebt ist, — es genügt dann, es mit der Nadel Fig. 7 Taf. VI zu durchstechen oder sogar mit den feuchten Fingern zu benetzen, um es wieder durchgängig zu machen. Ist ein kurzes Stückchen des Fadens eingeführt, so zieht man vorsichtig, ohne am Gefäss zu zerren, die Nadel sammt Faden auf dem früheren Wege zurück. (Siehe Taf. VI Fig. 16 Nr. II.) Auf welche dieser beiden Weisen man auch den Faden durchführt, so muss man dabei immer als Stützpunkt für die Nadel nicht das Gefäss, sondern das darunterliegende Gewebe wählen — sonst kann man dasselbe leicht zerreissen, besonders wenn das Thier eine plötzliche Bewegung macht. Auch wenn die Nadel schon untergeführt ist, darf man das Gefäss nicht mit ihr emporheben.

Ganz auf dieselbe Weise werden Fäden um herauszupräparirende Nerven gelegt, und ist die letzterwähnte Vorsichtsmaassregel hier noch sorgfältiger im Auge zu behalten. Die tiefe Lage des Gefässes erheischt es oft, der Nadel verschiedene Krümmungen zu geben. Auf Taf. I und II sind solche Nadeln, auf Taf. VI Fig. 16 deren Anwendungen dargestellt.

Liegen die Gefässe oberflächlich, sind sie ziemlich gross und von den Nachbartheilen schon genügend isolirt, so kann man statt der Nadel sich auch einer Pincette, besonders leicht einer an der Spitze etwas gekrümmten, zur Unterführung von Fäden bedienen. Man verfährt dann einfach in der Weise, dass entweder die Fäden mittelst der einen Pincette unter das Gefäss geschoben und von einer anderen aufgefasst werden (Taf. VI Fig. 16 Nr. III), oder man schiebt die Spitze der Pincette unter das Gefäss, entfernt ihre Arme und greift einen durch eine andere Pincette gereichten Faden auf, den man sodann auf der andern Seite herauszieht. (Taf. VI Fig. 16 Nr. IV.) Soll das so auf den Faden genommene Gefäss resp. der Nerv nicht unterbunden, sondern nur herauspräparirt werden, so macht man einen Knoten an der freien Spitze des Fadens, damit derselbe nicht durchgleiten kann. Hat man auf einem beschränkten Raume eine grosse Anzahl Nerven- und Gefässzweige, so ist es zu empfehlen, um Confusion zu vermeiden, an jedem Faden ein nummerirtes Papierstückchen zu befestigen. Ist es nothwendig, die gereizten Nerven sowohl anatomisch wie ihre Verbindungen nach dem Versuche zu verfolgen, so lässt man diese Fäden in der Wunde, um bei der Section durch dieselben geleitet zu werden. Werden diese Zweige dagegen unter-

bunden, so kann man je nach den Zwecken des Versuches entweder dieselben dicht an der Unterbindungsstelle abschneiden, oder auch die Fäden zum späteren Hervorziehen behalten.

Im Allgemeinen geschieht die Präparation in der Weise, dass man mit der in der linken Hand befindlichen Pincette die dem Operirenden näher gelegenen Theile fixirt, während man mit der rechten Hand durch Messer, Scheere, Nadel oder Finder präparirt; die links liegenden Wundtheile werden durch einen Haken oder einen Assistenten nach der entsprechenden Seite abgezogen.

Die Wahl zwischen den erwähnten Instrumenten wird ganz durch die Natur der zu präparirenden Theile, sowie durch den Sicherheitsgrad, mit welchem sie geführt werden, bestimmt. Feine Nervenzweige oder Gefässe präparirt man am besten mit Präparationsnadeln oder Findern; diese Instrumente werden nach Art einer Feder in der Hand gehalten, und meistens parallel zu den abzupräparirenden Theilen geführt. Beide Instrumente sind auf Taf. I Fig. 7 und Taf. II Fig. 10 dargestellt und sind so einfach, dass sie keiner weiteren Beschreibung bedürfen; es soll nur erwähnt werden, dass sowohl die Spitze des Finders, als die convexe Seite der Präparationsnadel abgestumpft sein müssen.

Ist man seiner Hand ganz sicher, so gelangt man bei der Präparation in einer anatomisch genau bekannten Gegend viel leichter und schneller zum Ziele, wenn man schneidende Instrumente anwendet. Sogar zur feineren Isolirung von Blutgefässen kann in diesem Falle die Scheere oder das Messer mit Erfolg geführt werden.

Hat man aber festes Gewebe von einander zu trennen, besonders in tieferen Gegenden, wo auch viele kleine Gefässe verlaufen, so bedient man sich dabei zweier Pincetten, mit welchen das Gewebe schichtenweise vorsichtig zerrissen wird; auch können oft in derartigen Fällen die Finger mit Nutzen die Pincette vertreten.

Ueber die Art und Weise, an den Knochen zu operiren (das Trepaniren, Sägen, Reseciren etc.), wird in den betreffenden Abschnitten gesprochen werden.

§. X. Section der operirten Thiere. Anlegung von Näthen.

Die zu Vivisectionen verwendeten Thiere werden entweder, wenn man sie noch ferner zur Beobachtung benutzen will, am Leben gelassen, oder sie gehen an den Folgen der Operation resp. durch eine absichtliche Verletzung zu Grunde.

In den letzteren Fällen muss häufig das Thier nach dem Tode secirt werden, sowohl um die Ausdehnung der gemachten Verletzungen festzustellen, als auch um Controle über etwa gereizte Nerven oder unterbundene Blutgefässe auszuüben. Solche Sectionen sind für die Verwerthung der gewonnenen Ergebnisse von der grössten Bedeutung, und keine zum Zweck einer speciellen Untersuchung ausgeführte Operation, wo über die anatomische Natur der behandelten Theile auch nur der leiseste Zweifel oder die geringste Ungewissheit obwalten kann, darf einer genauen postmortalen Untersuchung entzogen werden. Bei Verletzungen centraler Hirntheile, bei Reizung oder Durchschneidung feinerer Nervenzweige, bei Unterbindung kleinerer Gefässe oder Drüsengänge sind solche Sectionsbefunde, wenn anders die gewonnenen Resultate auf Glaubwürdigkeit Anspruch erheben sollen, nie bei Seite zu lassen. In selteneren Fällen dienen diese Sectionen nur zur Ermittelung der

nächsten Todesursache: hier muss die Aufmerksamkeit des Untersuchers natürlich auch auf von der Operationsstelle entferntere Theile des Thieres gerichtet sein, wie denn überhaupt solche Sectionen nach Art gewöhnlicher pathologisch-anatomischer Leicheneröffnungen ausgeführt werden müssen.

Soll das Thier zum Zwecke der Secirung getödtet werden, so richtet sich die Wahl der anzuwendenden Todesart nach der Art der Operation. Wenn das Thier nicht durch das Aufhören der künstlich unterhaltenen Respiration erstickt werden kann, so wählt man, wenn es sich um eine anatomisch genaue Untersuchung einer ausserhalb der Brusthöhle gelegenen Gegend handelt, am besten die Todesart durch Verblutung mittelst eines Stiches in's Herz. Ein Messer wird zwischen den Rippen in's Herz gedrückt (dass man dasselbe getroffen hat, davon überzeugt leicht das Pulsiren des Messers) und dann durch ausgiebige Bewegungen nach mehreren Richtungen eine breite klaffende Wunde in der Herzmusculatur erzeugt; das Thier stirbt dann ziemlich schnell unter heftigen Verblutungskrämpfen. Die dabei eintretende Entleerung der Blutgefässe ist für die spätere Präparation an der Leiche besonders günstig, hauptsächlich, wenn es auf Verfolgung feinerer Nervenzweige oder Feststellung der genauen Grenzen der gemachten Hirnverletzungen u. s. w. ankommt. Wenn die Untersuchung in der Brusthöhle selbst ausgeführt werden soll, so muss natürlich die Verblutung mittelst Durchneidung der Bauchaorta oder grösserer peripherischer Arterienstämme herbeigeführt werden. Soll aber die Section bei möglichst gefüllten Gefässen gemacht werden, so tödtet man das Thier durch Erstickung, durch einen Stich in's verlängerte Mark, durch Einblasung grösserer Luftmengen in die V. jugularis etc.

Die Untersuchung der Leiche muss so schnell als möglich nach dem Tode geschehen. Ist dies nicht möglich, so conservirt man in der Zwischenpause die Präparate entweder in der Kälte oder in Spirituslösungen. Die Präparation geschieht mit Hilfe der zur Vivisection benutzten Instrumente an den mit Eiweiss oder schwachen Kochsalz-Lösungen vor dem Vertrocknen geschützten Theilen. Die in der Wunde gelassenen Fäden dienen zur Orientirung in der operirten Gegend. Wenn man bei Verfolgung von feinen Nervenzweigen im Zweifel über die nervöse Natur dünner Fädchen ist, so genügen einige Tropfen einer schwachen Salzsäurelösung, welche das Bindgewebe auflösen, um in's Klare zu kommen. Sonst verfahre man nach den bei anatomischen Präparationen üblichen Regeln, auf die hier natürlich nicht weiter eingegangen werden kann. —

Soll das Thier am Leben erhalten werden, so muss die Wunde mit reinem kalten Wasser sauber ausgewaschen und, soweit es der Zweck des Versuches erlaubt, mittelst sorgfältig angelegter Näthe geschlossen werden. Zum Anlegen dieser Näthe benutzt man gewöhnliche chirurgische, gekrümmte Nadeln von verschiedener Grösse, mit welchen man entweder aus freier Hand oder mittelst Schieberpincetten manipulirt.

Bei Schliessung von Hautwunden bedient man sich der in der Chirurgie für solche Fälle üblichen einfachen Nath, wobei aber immer darauf Rücksicht genommen werden muss, dass nicht Haare in die Hautstiche und in die Wunden gelangen. Man verfährt also beim Nähen derart, dass die Nadelstiche immer von der inneren Hautfläche nach aussen geführt werden. Am besten ist es dabei, den Faden in zwei Nadeln einzuführen, jede Nadel an der entsprechenden Seite der Wunde von

innen nach aussen durchzustechen und darauf die beiden Enden festzubinden, indem man Sorge trägt, dass beim Anlegen der Hauträuder die inneren Flächen sich fest berühren. (Siehe Taf. VI Fig. 12.) Der Faden wird dann abgeschnitten und in derselben Weise in Entfernung von 4—6 Mm. eine zweite Nath angelegt. Es ist im Allgemeinen sicherer, die Näthe nahe neben einander anzubringen, damit ein vollkommener Schluss der Wunde erzielt wird. Nur wenn die Verletzung derart war, dass eine Heilung per primam intentionem unmöglich zu erwarten ist, so lässt man in dem tieferliegenden Winkel der Wunde eine kleine Oeffnung für den Ausfluss von Eiter oder für Einspritzungen von desinficirenden Flüssigkeiten frei.

Will man andere in der Chirurgie übliche Näthe anwenden, so kann man es thun, ohne aber dabei besondere Erfolge zu erwarten; nur muss immer die Vorsicht gebraucht werden, die Nadel von innen nach aussen zu führen.

Handelt es sich darum, irgend einen festen eingeführten Körper zu fixiren und die gemachte Oeffnung stark zu verengen, wie z. B. bei Befestigung von Fistelcanülen im Magen, so bedient man sich mit Erfolg einer besonderen Nath; der Faden wird nahe am Rande durch die Haut oder Magenwand durchgezogen nach Art der Schnüre an gewöhnlichen Tabaksäcken; nur müssen die Stiche dabei nicht zu dicht an einander gemacht und der Faden so geführt werden, dass nur kurze Abschnitte von ihm nach innen, nach aussen dagegen längere zu liegen kommen.

Ganz besondere Sorgfalt wird von den Physiologen auf Anlegung der Darmnäthe verwendet. Soweit meine Erfahrungen reichen, ist diese den Chirurgen nachgeahmte Genauigkeit etwas übertrieben, jedenfalls eine der Hauptbefürchtungen, der Faden möchte bei Heilung der Wunde in's Peritoneum gelangen, ganz unmotivirt.

Bei Anlegung von Darmnäthen werden drei Hauptpunkte im Auge behalten: 1) Die Näthe müssen so eng an einander gelegt werden, dass die Darmflüssigkeiten nicht durch die freien Zwischenräume in die Peritonealhöhle gelangen; 2) die Därme müssen mit ihren serösen Häuten aneinandergenäht und so zum Verwachsen gebracht werden; die viel schwerer durch adhäsive Entzündung zur Heilung zu bringenden Schleimhautflächen sind daher nach innen zu stülpen; 3) der Faden muss derart befestigt werden, dass er bei Heilung der Wunde in das Innere des Darmrohres hineinfällt und so durch's Rectum entfernt wird.

Die erste Indication ist durch dichtes Nähen streng zu erfüllen, da sie in der That für den Erfolg der Operation von grosser Bedeutung ist. Auch der zweiten muss vollständig Genüge geleistet werden, trotz der Schwierigkeiten, welche dabei zu überwinden sind. Die Art der dabei zu verwendenden Näthe ist ziemlich gleichgültig, so dass man mit fast allen von den Chirurgen vorgeschlagenen zum Ziele gelangen kann. Die hier zu beschreibenden Näthe haben nur den Vorzug leichterer Ausführung und grösserer Verbreitung unter den Physiologen.

Was den dritten Punkt anbetrifft, so ist er gewöhnlich schon durch die Erfüllung der zweiten Indication vollkommen erreicht, welches auch die angewandte Darmnath sein mag. Die nach innen gestülpten Darmstücke sterben nämlich besonders an den durch die Näthe etwas misshandelten Stellen nach Anheilung der serösen Flächen immer ab, und wo auch der Knoten des Fadens sich befinden mag, er kann dabei nur in das Innere des Darmes hineingelangen.

Die Näthe, welche den beiden ersten Indicationen am leichtesten genügen,

werden verschieden angelegt, je nach Stelle und Form der Darmtheile, welche vereinigt werden sollen.

Handelt es sich darum, eine durchschnittene Darmschlinge einfach zu verschliessen, also einen Cul-de-sac zu bilden, so verfährt man einfach in der Art, dass man die Ränder des Darmrohrs nach innen stülpt, so dass die beiden äusseren serösen Häute sich genau berühren und von der Schleimhaut nach aussen nichts zu sehen ist. Sodann werden die beiden Ränder nach Art der Hauträndер zusammengenäht. Der starke seidene Faden wird an seinen Enden mit einer geraden oder nur wenig gekrümmten Nadel verbunden und die Stiche in folgender Weise geführt: Die Nadel wird an dem einen Rand von aussen nach innen eingestochen, dann durch den zweiten Rand von innen nach aussen geführt, endlich beide Fadenenden angezogen und ein fester Knoten gebildet. Da jeder Rand durch die Umstülpung aus zwei Darmrändern besteht, so passirt die Nadel bei der angegebenen Nath vier Darmränder. Auf Taf. VI Fig. 14 ist ein Querschnitt eines solchen Darmstückes mit auf beschriebene Weise angelegter Nath dargestellt. Diese Nähte werden sehr eng nebeneinander gelegt und so ein vollständiger Schluss erzielt.

Besteht die Aufgabe darin, ein der Länge nach durchschnittenes Darmstück zusammenzuziehen, so verfährt man, wenn dasselbe lang ist, anfangs ganz auf die eben angegebene Weise. Sobald man sich aber dem freien Rande nähert, ist es vorzuziehen, die Nath folgendermaassen weiterzuführen. Mit einer kurzen, stark gekrümmten Nadel werden Stiche von der inneren Schleimhautseite aus durch die beiden Darmwände geführt, so dass die Nadel auf der Innenwand des zweiten Randes wieder herauskommt; sodann werden die beiden Fadenenden durch einen im Innern des Darmrohrs zu liegen kommenden Knoten verknüpft. Diese Nath hat den Vorzug, dass jede Darmwand nur ein Mal beim Durchziehen des Fadens durchstochen wird. Wenn daher überhaupt nur eine kurze Strecke der Wand zusammenzuziehen ist, so ist die ganze Nath auf diese Weise auszuführen.

Die am schwierigsten anzulegende Nath ist die, welche zwei Darmstücke mit ihren Querschnitträndern zu vereinigen hat, wie z. B. bei der Thiry'schen Darmfistelnath.

Hier wird auf folgende Weise verfahren: Zuerst werden die beiden Darmstücke mit ihren die Blutgefässe führenden Rändern aneinandergelegt und durch 5 oder 6 sehr naheliegende Schlingen, wie die in Fig. 13 Taf. VI dargestellte, befestigt. Bei Führung dieser Schlingen muss darauf Acht gegeben werden, dass die Blutgefässe mit hineingezogen werden (siehe Figur). Jede Schlinge wird dann zugezogen und mit Knoten befestigt.

Sind die Därme an einer Stelle schon an einander fixirt, so wird die Nathanlegung auf eine andere Weise fortgesetzt. (Fig. 15 Taf. VI zeigt diese Art der Anlegung.) Der Faden wird hier auf zwei Nadeln befestigt, von denen jede zuerst von aussen nach innen geführt und 2—3 Millimeter weiter nach aussen zurückgebracht wird. Hierauf wird die Nadel a [1]) durch den Stich c, die Nadel

1) Auf der Zeichnung sind die Darmstücke ganz frei neben einander dargestellt worden; dies geschah nur der Uebersichtlichkeit wegen; in der That sind sie, wenn man zu dieser Nath schreitet, schon durch die früher angelegte an ihren mesenterialen Flächen vereinigt.

a' durch den Stich c' von aussen nach innen gebracht. Sodann geht die Nadel a ein paar Mm. weiter durch d und die Nadel a' von innen nach aussen nach d'; nun geht wieder a in den Stich d' und a' in den Stich d u. s. w. Nach jeder beiderseitigen Durchstechung muss der Faden angezogen werden, wobei sich die serösen Flächen des Darmes aneinanderlegen und die Ränder nach innen gestülpt werden.

Beim Fortsetzen der Nathanlegung müssen immer die betreffenden Darmstücke in linearer Richtung angezogen und aneinandergelegt werden.

Bei allen solchen Näthen dürfen nur dicke Seidenfäden, am besten zwei oder drei zusammengelegt, verwendet werden, da sonst die Fäden leicht die Darmwand durchschneiden.

§. XI. Einführung von Canülen. Einspritzungen.

Eine der am häufigsten bei Vivisectionen zur Ausführung gelangenden Operationen ist die Einführung von Röhren verschiedener Grösse in Blut-, Lymphgefässe und Drüsengänge. Einige Worte über die Technik dieser Ausführung werden daher wohl am Platze sein.

Der Form nach müssen diese Canülen natürlich verschieden sein, je nach der Lage und der Gestalt des betreffenden Gefässes. Sie können entweder gerade oder gekrümmt, T-förmig durchbohrt sein oder nur eine Seitenöffnung darbieten u. s. w. Welche Form sie aber auch haben mögen, so müssen sie stets an ihrer in's Gefässlumen hineingezogenen Spitze irgend einen Einschnitt oder, was bedeutend besser ist, eine Verdickung zur Befestigung des Fadens haben; nur wenn die Canülen zum Behufe einer kurzdauernden Injection eingeführt werden, können sie ähnlicher Einrichtungen entbehren.

Je nach ihrem Zwecke werden diese Canülen aus Glas oder aus Metall verfertigt. Für Blutgefässe sind fast immer Glascanülen mit verdickten Enden, wie sie auf Taf. VI Fig. 9, 10 und 11 dargestellt sind, vorzuziehen, und zwar sowohl des leichteren Reinhaltens wegen, als auch weil es möglich ist, in jedem Augenblicke Canülen von der verlangten Form und beliebigem Querschnitte anzufertigen.

Sollen die Canülen nur ganz kurze Zeit im Gefässe verbleiben, wie z. B. bei Injectionen, so kann man auch Metallröhrchen benutzen. Eine besondere Art von Canülen ist auf Taf. III Fig. 3 u. 4 dargestellt; sie ist von Ludwig angegeben worden und sollte anfangs nur zur bequemen Messung des Seitendruckes in der Arterie dienen; sie hat aber seitdem auch anderweitig Verwendung gefunden.

Diese Canüle besteht aus einem nach unten zu concav geformten Neusilberplättchen, das in der Mitte eine Bohrung hat, welche sich in eine zum Plättchen senkrechte Röhre fortsetzt. Auf dieser bewegt sich ein zweites, ganz ebenso gekrümmtes Plättchen, welches dem unteren congruent ist.

Der Gebrauch dieser Canüle besteht darin, dass das untere Plättchen durch einen kleinen Schlitz in der Gefässwand in's Lumen derselben hineingeschoben wird. Das zweite, draussen gebliebene Plättchen wird dann heruntergeschraubt und legt sich an die Wand des Gefässes derart an, dass dieselbe genau zwischen den zwei Plättchen zusammengedrückt ist und der Schlitz sich verschliesst. Zum festen Anschrauben der oberen Platte dient, im Falle sie selbst keine Schrauben-

vorrichtung trägt, die auf demselben Röhrchen durch eine Schraubenvorrichtung bewegliche grössere Röhre, deren andere Oeffnung sich mit der Röhre des Manometers leicht verbinden lässt (s. unten). Die Communication des Manometers mit dem Blutgefässe geschieht dabei durch die beiden Röhren und die Bohrung des unteren Plättchens. Der bedeutende Vorzug dieser Canüle vor den anderen, T förmigen Röhren, welche zu demselben Zwecke verwendet werden, besteht hauptsächlich darin, dass sie wegen des geringen Umfanges des in's Gefäss gelangenden Plättchens weniger Veranlassung zu den sonst bei Einführung fremder Körper leicht entstehenden Gerinnungen giebt.

Zur Verbindung der Canüle mit anderen Röhren werden am bequemsten nicht vulcanisirte Kautschukröhren verwendet, welche mittelst starker, gewichster Bindfäden befestigt werden. Es ist dabei rathsam, auch der anderen Seite der Glascanüle eine geringe Erweiterung zu geben, nach Art der auf Taf. VI Fig. 10 und 11 abgebildeten.

Will man eine Canüle in ein Blutgefäss einführen, so verfährt man folgenderweise. Unter das betreffende Gefäss werden auf die oben beschriebene Weise drei gut gewichste Fäden geführt. Zuerst wird der eine Faden durch einen festen chirurgischen Knoten an dem zu verschliessenden Ende des Blutgefässes befestigt (s. Fig. 3 Taf. VIII), also bei der Arterie an dem peripherischen, bei den Venen an dem centralen. Sodann wird in der Entfernung von 1—2 Centimeter gegen das andere Ende hin (das centrale bei der Arterie, das peripherische bei der Vene), mit einem zweiten Faden eine Schleife gemacht. Die Schleife muss möglichst klein und das Ende des Fadens, durch dessen Ziehung die Schleife gelöst werden soll, behufs leichterer Unterscheidung, kürzer als das andere genommen werden. Das Anlegen der Schleife muss immer der Schliessung des festen Knotens folgen, weil bei dieser Anwendung aus leicht erkennbarem Grunde das Zwischenstück des Gefässes mit Blut gefüllt bleibt, was von grossem Vortheil beim Anschneiden desselben ist. Der dritte Faden (*d*), welcher dazu bestimmt ist, die Canüle festzubinden, wird vorläufig mit einem ganz losen chirurgischen Knoten versehen und in die Richtung der Schleife geschoben.

Hiernach greift der Operirende das eine Ende des ersten festgebundenen Fadens (*c*) (das andere Ende wird dicht am Knoten abgeschnitten) zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand und hebt das Gefäss etwas empor. (Siehe Fig. 3 Tafel VIII.) Unter das Zwischenstück des Gefässes wird die Nagelphalange des Zeigefingers geschoben, wodurch dasselbe besser fixirt werden kann. Die rechte Hand führt mit einer feinen, scharfen Scheere, deren Schneiden parallel dem Gefässe gehalten werden und deren Spitze gegen die Schleife gerichtet ist, einen Schnitt in die obere Wand des Gefässes. Dieser Schnitt muss eine Oeffnung machen, welche etwas enger als die einzuführende Canüle ist; durch die Elasticität der Wände erweitert sie sich von selbst; wenn man daher eine grössere Oeffnung macht, so läuft man Gefahr, dass das Gefäss leicht abreisst. Der Assistent halte während des Anschneidens über der betreffenden Stelle einen kleinen Schwamm, um das aus dem Zwischenstücke strömende Blut nicht in die Wunde gelangen zu lassen. Sobald der Schnitt in gewünschter Ausdehnung geführt ist, schiebt der Operirende mit der rechten Hand, während die linke immer dieselbe Position beibehält, den in Fig. 7 Taf. I abgebildeten Finder, oder den Canülenführer

(Fig. 14 Taf. III), in die Schnittöffnung und übergiebt ihn dem Assistenten, welcher ihn so lange ganz unbeweglich halten muss, bis die Spitze der Canüle in das Gefäss hineingebracht ist. Das Einführen der Canüle geschieht in der auf Taf. VIII Fig. 3 dargestellten Weise: die Canüle wird mit Daumen und Zeigefinger der rechten Hand gefasst und, durch den Finder geleitet, in die Oeffnung geführt. Der Canülenführer (*b*) hat eine für ähnliche Zwecke mehr passende Krümmung und trägt an seiner unteren Fläche eine Rinne, welche eben zum Leiter der Canüle dient. Sobald dieselbe in das Gefäss gelangt ist, wird der Finder herausgenommen und der vom Assistenten früher schon dazu vorbereitete lose Knoten (*d*) an der Einschnürung der Canüle zugezogen. Befürchtet man das Herausgleiten der Canüle aus dem Gefäss, so verfährt man folgendermaassen: die beiden Enden des an der Canüle befestigten Fadens werden nach oben in der Richtung des Kautschuks angezogen und dort mittelst eines Fadens in der gewünschten Lage befestigt. Die bequemste Stellung der Hände beim Einschneiden des Gefässes und Einführen der Canüle ist die in Fig. 3 bezeichnete; es stellt sich daher der Operirende am besten derart, dass er mit dem Gesichte nach der Richtung gekehrt ist, nach welcher die Canüle geführt werden muss. So ist es z. B. bei Einführung von Canülen in die Art. carotis für den Experimentator am bequemsten, sich an die Kopfseite des Thieres zu stellen.

Alle diese Angaben beziehen sich natürlich nur auf die sehr häufigen Fälle, wo die Einführung der Canüle wegen der Lage oder des geringen Lumens des Gefässes grössere Schwierigkeiten bietet.

Ueber die Art, die eingeführte Canüle mit dem Manometerrohre zu verbinden, wie über die zur Befreiung derselben von Luftblasen nothwendigen Verfahrungsweisen wird unten bei der Beschreibung der für Blutdruckversuche nothwendigen Handgriffe gehandelt werden. Ganz besondere Manipulationen sind bei Einführung einiger Cantilen von eigenthümlicher Construction (wie z. B. der für die Ludwig'sche Stromuhr verwendeten) nothwendig; dieselben werden in den speciellen Abschnitten berücksichtigt werden. Hier will ich nur noch ein paar Worte über das bei Einspritzungen in die Gefässe übliche Verfahren sagen.

Handelt es sich darum, irgend eine Lösung in die Blutgefässe zu bringen, so wählt man dazu am häufigsten, falls nicht besondere Versuchsbedingungen es verbieten, die Venen, und zwar, wenn an der Halsgegend schon ohnehin operirt wird, die Vena jugularis externa, wenn nicht — die saphena magna. Die erstere ist leicht an dem äusseren Rande des M. sternomastoideus, die letztere an der inneren Seite vom unteren Drittheil des Oberschenkels nahe an der Art. saphena, welche sich durch die Haut durchfühlen lässt, zu finden. Die Vene muss sorgfältig von den umliegenden Theilen isolirt, die Fäden müssen ganz auf die beschriebene Weise um das Gefäss angelegt werden, und zwar so, dass die Schleife an das centrale, der feste Knoten an das periphere Ende zu liegen kommt; darauf ist die Canüle nach der gegebenen Vorschrift einzuführen.

Man benutzt am besten zur Einspritzung von Flüssigkeiten klein calibrirte Spritzen von Silber oder Hartgummi, an denen man leicht Ansatz-Stücke von verschiedener Grösse und Form anbringen kann. Die Spritze muss möglichst ohne Luftblasen gefüllt werden! sollten aber solche trotzdem hineingelangen, so entfernt man sie, indem man die Spritze mit der Oeffnung nach oben stellt und den

Stempel in die Höhe schiebt. Ist die Spritze ganz luftleer, wovon man sich leicht durch Gradestellung derselben überzeugt, so führt man ihre Spitze, ganz wie eine gewöhnliche Canüle, in das centrale Ende der Vene ein. Es ist nämlich bedeutend vortheilhafter, das Ansatzstück mit der Spritze verbunden in das Gefäss einzuführen, da im entgegengesetzten Falle leicht Luft in dasselbe eindringen kann. Die Einspritzung geschieht in der auf Taf. VIII Fig. 2 dargestellten Weise. Nachdem der Assistent mit dem dritten Faden (*d*) (s. oben) ohne Anlegung eines Sicherheitsknotens die Spitze im Gefäss fixirt hat, beginnt der Operirende, indem er mit der einen Hand den die Vene etwas emporhebenden Faden (*b*) hält, mit der anderen das langsame und allmähliche Einspritzen. Er hält gewöhnlich dabei die Spritze so, das der Daumen in dem Ringe des Stempels liegt, während die Spritze selbst durch Zeige- und Mittelfinger vollkommen unbeweglich gehalten wird. Er muss dabei Acht geben, dass die gewöhnlich etwas schräg anliegende Mündung des Ansatzstückes nicht durch die Wand des Gefässes verschlossen wird; es ist dazu nur nothwendig, dem Lumen des Kanals die Richtung des Gefässes zu geben. Da das Gefässstück durch Hervorheben des peripheren Fadens eine Neigung von der Peripherie zum Centrum erhält, so giebt man dem Ansatzstücke (also auch der Spritze) dieselbe Neigung; dies hat ausserdem den Vortheil, dass in derselben etwa vorhandene Luftblasen sich in dem höher gelegenen Theile der Spritze ansammeln. Um zu verhüten, dass die Spritze selbst der Bewegung des meistens schwer gehenden Stempels nachgebe, ist es rathsam, dem Zeige- und dem Mittelfinger, welche die Spritze fixiren, entweder an der unteren Basis derselben oder an dem gewöhnlich in der Mitte befindlichen Leistenring eine Stütze zu geben, die es ihnen gestattet, dem Zuge des Stempels entgegenzuwirken (siehe Fig. 2 Taf. VIII).

Da es meistens unmöglich ist, im Voraus genau die für das gegebene Thier nothwendige Giftmenge zu bestimmen, so muss man die Einspritzung langsam und mit Pausen machen, um aus den eintretenden Symptomen die erforderliche Menge zu ersehen. Ist nach Entleerung der Spritze (wobei man nie den Stempel völlig hinunterschieben darf, wenn man den Eintritt von Luftblasen ganz verhindern will) noch eine zweite Einspritzung nöthig, — so lässt man das Ansatzstück in der Vene und entfernt zum Zwecke einer nochmaligen Füllung nur die Spritze, nachdem man natürlich vorher die Vene durch eine Schleife oder eine mit glatten Innenrändern versehene kleine Klemmpincette (Serre-fine) geschlossen hat (siehe Taf. VIII Fig. 3). Ehe man die gefüllte Spritze mit dem Ansatzstücke wieder in Verbindung bringt, kann man in demselben etwa enthaltene Luftblasen durch Einträufelung einiger Tropfen der zur Verwendung kommenden Flüssigkeit entfernen. Dasselbe muss natürlich auch dann vorgenommen werden, wenn von vorne herein der Ansatzpunkt resp. eine besondere Canüle für sich allein eingeführt wird. Zu demselben Zwecke ist es empfehlenswerth, ehe man die Schlinge löst, einige schwache saugende Bewegungen mit der Spritze zu machen, wodurch in der Canüle etwa enthaltene Luftblasen in dieselbe hineingezogen werden. Uebrigens sind einige wenige kleine Luftblasen, welche in die Venen gelangen, ohne jede störende Bedeutung. Hat man es mit Arterien zu thun, so lassen sich bei ihnen die Schleifen nicht immer durch glatte Serres-fines ersetzen, da ihre zarten Wände leicht zerdrückt werden, was im besten Falle zu Blutungen aus den Vasa vasorum führt. Man kann bei Hunden diese Serres-fines durch die von Ustimo-

witsch angegebene Klemme ersetzen. Sie hat den Vorzug, dass ihre das Gefäss umfassenden Arme passend gekrümmt und abgerundet sind, doch sind auch diese Klemmen bei den zarteren Arterien, besonders bei Kaninchen, nur mit grosser Vorsicht zu gebrauchen und oft doch nicht im Stande, die Fadenschleifen zu ersetzen. Die Anwendungsweise dieser Klemme ist leicht verständlich: indem man durch Hinaufschrauben die Arme derselben von einander entfernt hat, führt man den unteren unter das Gefäss und schraubt den oberen wieder herunter.

§. XII. Narkotisation der Thiere.

Die Narkotisation der Thiere wird bei physiologischen Versuchen hauptsächlich zu zwei Zwecken vorgenommen: erstens um gewisse allgemeine Wirkungen zu erzielen, welche das operative Verfahren erleichtern, zweitens um gewisse specielle Effecte hervorzurufen, deren Eintreten für den Untersuchungszweck selbst von Bedeutung ist.

Allgemeine Wirkungen werden meistens bezweckt, um das Thier unbeweglich oder unempfindlich zu machen und somit sowohl die Ausführung der Operation zu erleichtern, als auch dem Thiere unnütze Qualen zu ersparen. In diesem Capitel können natürlich nur die allgemeinen Narkotisationen berücksichtigt werden, da diejenigen, welche specielle Zwecke, wie Ausschliessung gewisser Functionen und so weiter, verfolgen (z. B. Vergiftung mit Atropin, um die hemmenden Nervencentra des Herzens ausser Thätigkeit zu setzen), nur bei den speciellen Versuchsbeschreibungen Platz finden können.

Die zu allgemeinen Narkotisationen am häufigsten vorkommenden Gifte sind: Chloroform, Chloralhydrat, Opium, Morphium und Curare.

Dank der grossen Verwendung dieser Gifte zu physiologischen Zwecken gehören sie zu den am meisten in toxikologischer Beziehung erforschten. Denn selbstverständlich kann eine rationelle Anwendung dieser Gifte bei physiologischen Versuchen nur dann erwartet werden, wenn alle Wirkungen derselben genau erkannt sind; sonst werden durch die Einführung dieser Gifte neue unbekannte Bedingungen im thierischen Organismus geschaffen, die bei der Deutung der Versuche nicht richtig verwerthet werden können.

Eine kurze Darlegung der Wirkungsweisen dieser Gifte, soweit sie bei ihrer allgemeinen Anwendung von Belang sind, darf hier wohl nicht umgangen werden.

Chloroform wirkt, soweit die bisherigen Untersuchungen dargethan haben, hauptsächlich auf die Nervencentra, und zwar ist seine Wirkung hier eine doppelte: anfangs eine schwach erregende, sodann eine stark lähmende.

Die erregende Wirkung giebt sich sofort nach Einführung des Giftes, auf welchem Wege dies auch geschehen mag, beim Thiere in grosser Unruhe, geringer Beschleunigung des Athems und Herzschlags, erhöhter reflectorischer Thätigkeit — beim Menschen in Hallucinationen, Delirien, zwecklosen Bewegungen u. s. w. kund.

Dieses Stadium der Aufregung ist aber sehr kurz, bald darauf folgt Verlangsamung der Athmung und der Herzschläge, Schlaf, Verlust jeder reflectorischen Thätigkeit, Sinken des Blutdruckes, sowohl in Folge der Schwächung der Herzthätigkeit, als der Erweiterung der kleinen Arterien, vollständige Ruhe des Thieres.

Beim Menschen ist constatirt: vollständiger Verlust des Schmerzgefühls, meistens

auch des Bewusstseins; (in selteneren Fällen bleibt das Bewusstsein erhalten — der Operirte empfand alle Momente der Operation, ohne aber auch bei den schmerzhaftesten Eingriffen etwas zu fühlen). Die vom Chloroform zuerst und am meisten afficirten Gehirncentra sind die sensiblen Partieen der Grosshirnhemisphären. Sodann kommen die im verlängerten Marke liegenden Centra für die hemmenden Fasern des Vagus, für die Athmung und die Gefässnerven, und die sowohl im Rückenmarke als im Hirn befindlichen Reflexcentra.

Bemerkenswerth ist besonders, dass der Verlust der Reflexthätigkeit parallel geht mit der Ausserthätigkeitsetzung des Grosshirns; während gewöhnlich in solchem Falle die Reflexthätigkeit erhöht zu sein pflegt. Das Erlöschen der Reflexe ist, wie aus den Versuchen von Bernstein hervorzugehen scheint, wenigstens in einem gewissen Stadium der Vergiftung nur von einer Lähmung der sensiblen Nerven abhängig, die motorischen werden, selbst bei sehr heftiger Narkose, kaum afficirt. Das Erschlaffen der Muskeln, welches bei voller Narkose eintritt, wird wohl von dem Aufhören des Reflextonus derselben herrühren, das nach Lähmung der sensiblen Partieen des Rückenmarkes unbedingt eintreten muss.

Charakteristisch ist bei der Chloroformnarkose noch, dass, während sie auf die meisten Nervencentra lähmend wirkt, sie die Centra der hemmenden Fasern des Vagus heftig erregt. Diese Wirkung kann durch eine reflectorische Erregung dieser Centra von den Trigeminusfasern der Nasenschleimhaut (Holmgreen) oder von den sensiblen Fasern aller Respirationswege (Dogiel, Hering und Kratschmer) nicht erklärt werden, da dieselbe Vagusreizung auch eintritt, wenn Chloroform nicht durch Respirationsorgane in den Körper gelangt. Ich habe mich mehrmals überzeugt, dass die Verlangsamung des Herzschlages, welche auch in solchen Fällen eintritt, im Beginne der Vergiftung nicht von einer Schwächung der Herzthätigkeit, sondern nur von einer centralen Vagusreizung abhängig ist.

Besonders hervorzuheben ist noch die bei Vergiftung durch Chloroform eintretende Verengung der Pupillen, welche von einer Reizung des Oculomotorius-Centrums abzuhängen scheint. Dieser Reizung folgt bei fortdauender Chloroformzuführung eine Lähmung und, als Folge davon, eine Erweiterung der Pupillen. Der Sympathicus bleibt während der ganzen Vergiftungsdauer wirksam und ist sogar anfangs reflectorisch durch sensible Reizungen erregbar (Cl. Bernard).

Alle beschriebenen Wirkungen entsprechen einer gewissen Periode der Vergiftung, welche bei verschiedenen Theilen zu verschiedener Zeit eintritt. Wird nach dieser Periode die Zuführung des Giftes nicht sistirt, so kann die Steigerung dieser Wirkungen den Tod veranlassen. Am häufigsten tritt derselbe durch Athmungsstillstand ein (Mac Gillavry). Man kann bei der Section leicht auf die von Cl. Bernard empfohlene Art erkennen, ob der Tod durch Stillstand des Herzens oder der Athmung eingetreten ist: im ersteren Falle ist das Blut in dem linken Herzen hellroth, im rechten dunkelroth gefärbt, im letzteren dagegen in beiden Herzhälften gleich dunkel. Der Grund hiervon ist leicht einzusehen.

Soll das Thier am Leben erhalten und zum Versuche verwendet werden, so muss natürlich vom weiteren Narkotisiren sofort Abstand genommen werden, so wie die beschriebenen Lähmungserscheinungen aufzutreten beginnen. Da aber durch die mächtige Ausdünstung von der Lungenoberfläche das Chloroform schnell vom Körper ausgeschieden wird, so verschwinden einige Zeit nach unterbroche-

ner Zuführung dieses Giftes auch dessen Wirkungen. Man muss daher dieselbe erneuern, sobald das Thier Zeichen des Erwachens giebt. Die für physiologische Zwecke bequemste Art der Narkotisation mit Chloroform ist die Zuführung der Chloroformdünste zu den Lungen. Dies kann in mehrfacher Weise geschehen. Zu beobachten ist dabei nur, dass bei dem Einathmen des Giftes nicht der Luftzutritt abgeschlossen wird. Kleinere Thiere, wie Frösche, Tauben, Meerschweinchen, vergiftet man am besten, indem man sie unter eine Glasglocke bringt, unter welcher einige mit Chloroform durchtränkte Schwämme sich befinden; sobald die Thiere bewegungslos werden, muss man sie aus der Glocke, welche bei warmblütigen Thieren auch nie luftdicht abgesperrt werden darf, befreien.

Schwer zu bewältigende Thiere, wie Katzen, vergiftet man am leichtesten, indem man sie in grosse Behälter, welche mit in Chloroform getränkten Schwämmen gefüllt sind, hineinwirft; doch darf man bei diesen schlauen Thieren nicht zu voreilig mit dem Befreien sein, da sie oft Bewegungslosigkeit simuliren, noch ehe volle Narkose eingetreten ist.

Sonst narkotisirt man die Thiere dadurch, dass man ein mit Chloroform getränktes Handtuch oder ebensolche Schwämme ihnen längere Zeit vor die Nase hält. Sehr zu empfehlen sind für diesen Zweck die von Cl. Bernard in Anwendung gebrachten Kappen, welche über den Kopf des Thieres geführt werden. Eine solche Kappe, deren man mehrere von verschiedener Grösse besitzen muss, ist auf Taf. VI Fig. 3 dargestellt. Dieselbe besteht aus einem von beiden Seiten offenen Blechcylinder (*d*), der mit Leder überzogen ist; dieses Leder verlängert sich in zwei breite Streifen (*a*), die an ihrem breiten, dem Cylinder anliegenden Theile durch sehr dehnbares Seiden-Zeug (*c*, *c'*) zu einer Kappe verbunden sind; die schmalen Enden (*b*, *b'*) dieser Streifen werden beim Ueberziehen der Kappe über die Schnauze hinter dem Kopfe zusammengeschnallt. Die vordere Oeffnung des Blechcylinders (*d*) ist mit einem Drahtgitter geschlossen, und auf dieselbe passt genau ein zweiter Cylinder (*f*), welcher auch am Ende ein solches Gitter trägt. In diesen zweiten Cylinder wird der mit Chloroform durchtränkte Schwamm gelegt; das letztere Gitter dient dazu, der äusseren Luft freien Zutritt zu gewähren, während das im ersten befindliche innere Gitter den Schwamm von der Schnauze absondert.

Den Schwamm in ein besonderes Gefäss hineinzulegen, das in den zweiten Cylinder passt und mit der Oeffnung zur Schnauze gekehrt ist, wäre nicht rathsam, weil dadurch der Luftzutritt zu sehr verhindert würde.

Die Berücksichtigung der oben auseinandergesetzten Wirkungen des Chloroforms genügt, um die Versuche anzuzeigen, bei welchen Narkotisationen mit diesem Gifte zu vermeiden sind. Am häufigsten wurde diese Narkose benutzt in Fällen, wo es sich nur um Entfernung irgend welcher wichtiger Theile, um Anlegung von Fisteln u. s. w. handelte, überhaupt, wo man die Untersuchung erst begann, nachdem die Narkose schon vorüber war, dieselbe also nur während des operativen Eingriffes als schmerzstillendes Mittel benutzt ward.

In letzterer Zeit ist das Chloroform bei den meisten physiologischen Versuchen durch das Chloralhydrat verdrängt worden, dessen Wirkungen im Allgemeinen mit denen des Chloroforms identisch sind, das sich aber viel leichter handhaben und dosiren lässt.

Dieses von O. Liebreich zuerst eingeführte Hypnoticum wirkt, wie gesagt, sonst ganz wie Chloroform, nur fehlt bei seiner Anwendung das Reizungsstadium fast vollständig. Die Narkose tritt bei Einspritzungen in die Gefässe fast momentan, bei subcutaner Injection etwas später, aber auch plötzlich ein. Sie hält viel länger als die durch Chloroform erzeugte an. Diese beiden bedeutenden Vorzüge verdankt das Chloralhydrat hauptsächlich seiner grossen Löslichkeit und sehr geringen Flüchtigkeit. Die Abdunstung desselben durch die Lunge geschieht, wie der Geruch der Chloraldämpfe aus der athmenden Lunge (Demarquay) deutlich zeigt, nur sehr langsam, und scheidet sich ein Theil des Chlorals unverändert durch den Harn aus (Herrmann). Das Erwachen der Thiere geschieht meistens plötzlich und ist seltener von Erbrechen begleitet, als nach der Chloroformnarkose. Ausser dem Erbrechen sind keine Nachwirkungen beim Thiere zu beobachten.

Ein dritter Vorzug des Chlorals ist die Möglichkeit, die eingeführten Dosen genau bestimmen zu können. Bei subcutaner Injection von 0,025 — 0,05 Grm. Chloral tritt bei Fröschen schon einige Stunden dauernde Narkose, bei 0,1 Grm. plötzlich Herzstillstand ein. Das Fortdauern dieses Stillstandes nach Ausschneidung des Herzens aus dem Körper spricht nicht gegen die Abhängigkeit desselben von einer Vagusreizung, da dieses Gift auch die im Herzen liegenden Vagusenden heftig reizt. Bei Kaninchen ist die Anwendung des Chlorals meinen Erfahrungen nach ziemlich schwierig: entweder giebt man zu kleine Dosen, und dann tritt keine volle Narkose ein, oder die Dose ist zu stark und das Thier geht sofort zu Grunde.

Dies gilt besonders für Einspritzungen in die Gefässe. Subcutane Injectionen werden besser vertragen, und genügt zur Narkose schon ein Gramm Chloral.

Hunden injicirt man gewöhnlich bis zur Erreichung vollständiger Narkose 5 Grm. Chloralhydrat, in 10 Grm. destillirtem Wasser gelöst, direct in die Vene. Die Injection geschieht in drei Absätzen. Man beobachtet dabei sehr häufig, dass sofort nach der Einspritzung die Athmung sistirt wird; es genügt aber, einige künstliche Athembewegungen durch Compression des Brustkastens und der Bauchhöhle zu erzeugen, damit das Thier sofort wieder zu athmen beginnt.

Grössere Hunde bedürfen oft 6 — 8 Grm. bis zur vollständigen Narkose. Doch stösst man auch auf solche, bei denen die Dosis eher letal wirkt, als dass eine vollständige Narkose eintritt. Für Pferde genügen 18 — 20 Grm., um Schlaf hervorzurufen.

Als ein drittes hypnotisches Mittel, das am meisten bei physiologischen Versuchen angewendet wird, muss das Opium oder eigentlich der wirksamste Bestandtheil desselben, das Morphin, angeführt werden. Opiumtinctur oder Morphinlösungen (welche ihrer reineren Wirkung wegen bei physiologischen Versuchen immer vorzuziehen sind) werden entweder subcutan oder direct in die Venen eingespritzt.

Frösche vertragen im Allgemeinen keine Morphium- und noch weniger Opiumvergiftung. Nach Einführung auch ganz minimaler Dosen von Opiumlösungen verfallen die Thiere in heftige tetanische Krämpfe, die je nach der Stärke der Dosis früher oder später in Lähmungen aller Bewegungen (mit Ausnahme derer des Herzens) übergeben. Viel besser vertragen Kaninchen Morphiumnarkose. Die entgegengesetzte Ansicht vieler Physiologen beruht entweder auf dem Gebrauche von

Opiumlösungen oder auf Ausnahmefällen, wo Kaninchen auch bei relativ kleinen Dosen unter Convulsionen zu Grunde gehen. Injectionen von 0,008 bis 0,015 Grm. in die Blutgefässe vertragen die meisten Kaninchen und verfallen dabei nach einem kurz vorübergehenden Stadium der Unruhe in Schlaf.

Hunde sinken bei Morphiumeinspritzungen bis zu 0,05 Grm. in tiefen Schlaf, dem aber auch eine kurze Periode grosser Unruhe und Aufregung vorangeht. Die Reflexe sind während des Schlafes erloschen, und zwar durch stark herabgesetzte Leistungsfähigkeit der sensiblen Partieen, sowohl der peripheren als centralen. Der Herzschlag ist bei intacten Vagi, nach einer (zweifelhaften) vorübergehenden Beschleunigung, verlangsamt, und zwar durch Erregung der centralen und peripheren Vagusenden. Werden stärkere Dosen verabfolgt, so tritt Lähmung der hemmenden Apparate und in Folge dessen Beschleunigung der Pulsfrequenz ein; diese Beschleunigung dauert aber nicht lange, da derartige Dosen endlich den Herzschlag durch directe Wirkung schwächen und seltner machen. Die Athmung ist tief, schnarchend und langsam. Die Gefässe sind in Folge der Herabsetzung des Tonus des Gefässnervencentrums etwas erweitert und der Blutdruck ist daher erniedrigt.[1] Die Herabsetzung des Tonus ist vielleicht eine Folge der verminderten Thätigkeit der sensiblen Sphäre.

Das Erwachen der Thiere ist ein sehr allmähliches und von Erbrechen, Parese der Hinterbeine, grosser Aengstlichkeit und Zittern begleitet.

Tauben, wie überhaupt die meisten Vögel, zeigen eine grosse Immunität gegen Opium und Morphium, von denen sie (besonders vom ersteren) grosse Dosen ohne narkotische Wirkung vertragen können.

Die übrigen Alkaloide des Opiums werden bei rein physiologischen Versuchen nicht verwendet. Nach den schönen Untersuchungen von Cl. Bernard über deren Wirkungen wäre das eine Alkaloid Narcein jedenfalls seiner stärkeren schlaferregenden Wirkung nach dem Morphin vorzuziehen.

Das Gift, welches als methodisches Hülfsmittel der Physiologie die grössten Dienste erwiesen hat, ist unzweifelhaft das Curare.

Dieses zuerst von Cl. Bernard und Kölliker sorgfältig untersuchte Gift ist später der Gegenstand der ausgebreitetsten experimentiellen Prüfungen seitens zahlreicher Physiologen geworden.

Die an sich höchst interessanten Wirkungen dieses Giftes waren aber nicht die einzigen Motive, welche die Forscher zu dessen Studium anspornten. Gleich im Beginn ist die methodische Wichtigkeit dieser Wirkungen durch die Hilfe klar geworden, welche dessen Verwendung bei der Entscheidung der Frage über die selbstständige Irritabilität der Muskeln geleistet hat.

Eine noch viel wichtigere methodische Bedeutung hat dies Gift aber erhalten, seitdem Traube die Narkotisation der Thiere mit Curare bei Versuchen über die Blutcirculation eingeführt hat. Der Umschwung, welcher in den letzten zehn Jahren auf diesem Gebiete der Physiologie vor sich gegangen ist, war nur Dank dieser methodischen Vervollkommnung möglich.

---

1) Die Behauptung Gscheidlein's, dass die Gefässe verengert seien und die Druckabnahme nur Folge der Abnahme der Pulsfrequenz sei, kann nur für Ausnahmefälle gelten.

Die Hauptwirkung des Curare besteht in einer vollständigen Lähmung der intramusculären Enden der motorischen Nerven, die zu den quergestreiften willkürlichen Muskeln sich begeben. Aus dieser unzweifelhaft feststehenden Wirkung lassen sich die übrigen Folgen dieser Vergiftung leicht ableiten.

Thiere, welche keiner Muskeln bedürfen, um weiterathmen zu können (Amphibien etc.), vertragen dieses Gift, ohne zu Grunde zu gehen. Die Hautathmung genügt bei ihnen, um, während des Erlöschens einer jeden willkürlichen oder reflectorischen Beweglichkeit, die Lebensfunctionen zu erhalten. Und da das Gift nach einiger Zeit durch die Nieren ausgeschieden wird (Cl. Bernard), so kehrt diese Beweglichkeit allmählich wieder zurück.

Warmblütige Thiere, welche ohne lebhaft unterhaltenen Gaswechsel nicht fortexistiren können, gehen bei Vergiftung mit Curare, sobald die Athmungsmuskeln gelähmt zu werden beginnen, am Erstickungstode unter heftigen Krämpfen zu Grunde. Da die Todesursache nur von dem Sistiren der Athmung herrührt, so kann man dem Thiere das Leben erhalten, wenn man ihm künstlich die Athmung unterhält.

Es ist klar, dass man in solchen durch Curare bewegungslos gemachten Thieren, bei denen die künstliche Respiration unterhalten wird, für das Studium dieses Systems ausgezeichnet geeignete Objecte besitzt, da das Circulationssystem fast gar nicht vom Curare afficirt wird. Die motorischen Nervenstämme werden vom Gifte nicht angegriffen, sondern behalten alle ihre elektromotorischen und physiologischen Eigenschaften ungeschwächt (Funke, Valentin u. A.). Die ganze sensible Sphäre sowohl in der Peripherie als im Centrum wird von dem Pfeilgift verschont. Die Thiere empfinden also Alles, was mit ihnen vorgeht; dies lässt sich nur indirect aus dem Erhalten der normalen Reflexe von den sensiblen auf die Gefässnerven ableiten, da die Lähmung der motorischen Nervenenden die Thiere sonst ganz reactionslos macht. (Versuche am Menschen sprechen auch gegen jede hypnotische Wirkung dieses Giftes. Voisin und Liouville.)

Das Herz und das Gefässsystem werden von dem Gifte, wenn es nicht in gar zu grossen Dosen verabfolgt wird, ganz unberührt gelassen. Nur bei stärkeren Dosen wird die Wirksamkeit des Vagus auf das Herz herabgesetzt. Es gelingt nicht mehr, einen Stillstand des Herzens durch Reizung seines peripheren Endes zu veranlassen. Bei sehr starken Dosen wird der Vagus ganz wirkungslos. Wird Curare in grösserer Menge dem in's Froschherz eingeführten Serum beigemengt, so werden auch die Vagusenden im Herzen gelähmt.

Auf die beschleunigenden Herznerven übt Curare gar keine Wirkung aus, wie zahlreiche Versuche auf das Genaueste überzeugt haben. Dosen, welche gerade genügen, um eine Lähmung der willkürlichen Muskeln hervorzurufen, haben auf die Gefässnerven nicht den mindesten Einfluss. Bei stärkeren Dosen tritt eine geringe Verengerung derselben ein, welche sich durch Sinken des Blutdruckes kundgiebt. Lähmung der Gefässnerven oder Erfolglosigkeit ihrer Reizung tritt nie ein, wie intensiv die Vergiftung auch sein mag. Bei einigen Curaresorten beobachtet man statt einer Verengerung eine Erweiterung der Blutgefässe und starke Druckverminderung. Die Pupille ist in Folge einer eintretenden Parese des Sphincter erweitert, die Wirkung des Sympathicus auf den Dilatator wird erhalten.

Sämmtliche übrigen Einflüsse des sympathischen Nervensystems bleiben unberührt, z. B. die hemmende Wirkung des Splanchnicus auf den Darm, die Wirkungen auf Uterus, Blase etc. Die Functionen der secretorischen Nerven werden etwas gesteigert; es tritt Speichel-, Thränenfluss etc. sofort nach Einführung des Giftes ein (Cl. Bernard). Reizung dieser Nerven erzeugt die normalen Erfolge.

Die in den Handel gelangenden Curarearten besitzen bei weitem nicht alle dieselben Eigenschaften. Am reinsten sind noch diejenigen, welche in Töpfchen als weiche, resinöse Masse direct aus Süd-Amerika herkommen. Nicht selten enthalten sie Beimengungen, welche ihnen theilweise die Wirkung des Strychnins verleihen. So stösst man auch auf solches Curare, das nur Krämpfe und nur unvollständige Lähmungen erzeugt oder sofort einen Stillstand des Herzens herbeiführt.

In Curarelösungen, welche längere Zeit vorbereitet sind, entwickeln sich solche Herzgifte gar nicht selten; man gebrauche daher bei Versuchen nur frische Lösungen. Am besten ist es, vor jedem Versuche eine frische Lösung, und zwar am zweckmässigsten eine halb probeartige zu bereiten und dieselbe vor dem Gebrauche sorgfältig zu filtriren.

Die Einführung des Curare geschieht am besten durch Einspritzung in die Venen oder in die Lymphsäcke. Dieselbe muss bei warmblütigen Thieren sehr langsam und allmählich geschehen, da die zur Vergiftung nöthige Dose nicht nur bei verschiedenen Curaresorten, sondern auch bei verschiedenen Individuen variabel ist. Man folgert den Beginn der Wirkung, wenn Berührung der Cornea keinen oder einen sehr trägen Lidschluss erzeugt. Die künstliche Athmung muss sofort, wie die Curarewirkung sich äussert, beginnen, um die innere schädliche Anhäufung von Kohlensäure im Blute zu vermeiden. Spätestens soll die Lufteinblasung bei dem Eintritt der ersten Krämpfe beginnen, da bei dem zweiten Krampfanfall schon eine vollständige Vergiftung mit CO_2 eingetreten ist. Die grosse Erweiterung der Gefässe, welche mehrere Beobachter bei Curarevergiftung erhalten haben, ist höchst wahrscheinlich Folge der CO_2-Anhäufung gewesen.

Natürlich ist es nöthig, die Tracheotomie und die übrigen Vorbereitungen zur künstlichen Respiration schon vor der Curareeinspritzung bereit zu halten.

Zur Vergiftung von Fröschen genügt es, einige Tropfen der erwähnten Lösung unter die Haut zu spritzen und dann die Stichstelle mit einer Klemmpincette zu verschliessen.[1])

Die Einführung des Curare durch den Magen ist meistens nicht im Stande, eine Vergiftung hervorzurufen; früher schloss man bekanntlich daraus, dass die

---

1) Bei der hier kurz gefassten Beschreibung der Wirkungsweisen einiger Gifte wurde nur auf die Hauptpunkte aufmerksam gemacht, welche bei dem Studium solcher Wirkungen in Betracht gezogen werden müssen

Auf diese Hauptpunkte muss auch bei jeder exacten toxikologischen Untersuchung eines unbekannten Giftes vorzugsweise geachtet werden. Der Werth einer solchen Untersuchung wird bestimmt werden durch die Exactheit der dabei benutzten Prüfungsmittel. Diese Mittel werden in den speciellen Theilen genau angeführt werden, da es dieselben sind, deren sich die physiologische Forschung für ähnliche Zwecke (Erregbarkeitsbestimmung, Prüfung der Reflexthätigkeit etc.) bedient. Der Toxikologe muss also, was diese Methoden anbetrifft, auf die speciellen Abschnitte verwiesen werden.

Schleimhaut des Darmkanals unfähig sei, dieses Gift zu resorbiren. Die Vermuthung, dass die Darmsecretion das Gift zerstöre, wurde durch Cl. Bernard in der Weise widerlegt, dass er die giftige Wirkung des mit Magensaft digerirten und unter die Haut gebrachten Curare constatirt hat.

Nachdem Bernard bewiesen, dass bei Unterbindung der Nieren das Curare auch vom Magen aus giftig wirkt, muss man sich die scheinbare Immunität des Magens folgendermaassen erklären: trotz seiner leichten Löslichkeit kann das Curare wegen der Beschaffenheit des Magenepithels und der die Schleimhaut bedeckenden Schleimschicht nur sehr langsam und allmählich resorbirt werden; eine zur Vergiftung nothwendige Anhäufung derselben im Blute kann aber bei einer solchen Resorbirungsweise nicht stattfinden, da das Gift sehr schnell durch die Nieren wieder ausgeschieden wird.

Die Restitution der durch die Vergiftung lädirten Functionen tritt nur nach und nach wieder ein. Bei Fröschen kann sie sogar einiger Tage dazu bedürfen.

Da die Ausscheidung des Giftes ziemlich schnell erfolgt, so kann die langsame Restitution nur von den sehr eingreifenden Wirkungen des Giftes herrühren, welche auch noch lange nach dem Verschwinden desselben anhalten.

Bei warmblütigen Thieren tritt eine theilweise Restitution schon einige Stunden nach der Vergiftung ein, wenn die künstliche Respiration sorgfältig unterhalten wird.

Bei nur geringen Vergiftungen ist man daher durch die eintretenden Zuckungen in den Muskeln während des Versuches genöthigt, neue Dosen einzuführen.

Das Erwachen geschieht unter anfangs schwachen unwillkürlichen Zuckungen einzelner Muskeln. Will man das Thier ganz zu sich kommen lassen, so muss man die künstliche Respiration noch eine Stunde oder etwas länger fortsetzen, bis es in den Stand gesetzt ist, seine Respiration selbst zu besorgen. Soll es die Operation einige Zeit überleben, so muss für die Offenhaltung der Trachealcanüle besonders gesorgt werden.

Nach Schiff's Beobachtung besitzen Fische bis zu einem gewissen Grade eine Immunität gegen Curare. Worauf dieselbe beruht, ist unbekannt. Herrmann vermuthet, dass deren Ursache in einer schnellen Ausscheidung des Giftes durch die vom Wasser bespülten Kiemen liegt.

§. XIII. Methoden der künstlichen Respiration.

Die künstliche Respiration gehört zu den häufigsten und fruchtbarsten physiologischen Operationen und wird bei Versuchen zu den mannigfaltigsten Zwecken ausgeführt.

Je nach den zu erreichenden Zielen ist auch die Technik dieser Operation verschieden und gehören zu ihrer Ausführung besondere Vorrichtungen.

Im Allgemeinen werden künstliche Athmungen zu doppeltem Zwecke vorgenommen: 1) um die normale Respiration, welche durch die sonstigen Versuchsbedingungen (z. B. Curarevergiftung) erloschen ist, zu ersetzen; 2) um die Thiere unter veränderten Bedingungen athmen zu lassen, also nach Belieben die Zahl und Tiefe der Athemzüge und die chemische Composition der eingeathmeten Gase variiren zu können.

Die Methoden der letzteren Art künstlicher Gaseinblasungen, bei der es nicht selten darauf ankommt, auch die quantitativen Verhältnisse des Gaswechsels zu

bestimmen, werden ausführlich in dem Capitel über Athmung auseinandergesetzt werden. Hier können wir uns nur mit den Hülfsmitteln befassen, welche die natürliche Athmung so genau als möglich bei verschiedenen Thieren nachahmen lassen.

Künstliche Athmung wird im Allgemeinen nur an grösseren Thieren hervorgerufen, da als erste Bedingung dazu die Möglichkeit gehört, in die Luftwege impermeable Canülen einzuführen, die mit dem als Luftbehälter dienenden Raume in Verbindung gesetzt werden sollen.

Da die künstliche Respiration um so vollkommner ist, je genauer bei ihr die Bedingungen der willkürlichen Athmung nachgeahmt sind, so müssen auch die dazu benutzten Vorrichtungen in ihrer Construction sich so weit als möglich den natürlichen zu nähern suchen.

Die Vorrichtungen bestehen also im Allgemeinen ebenso, wie die im thierischen Organismus gegebenen, aus folgenden Theilen: *a*) Luftwege, *b*) Luftbehälter und *c*) Luftpumpen.

Wir betrachten zuerst in der gegebenen Reihenfolge die Anforderungen, welchen diese Theile entsprechen müssen, und werden uns dann darauf beschränken, von den bis jetzt bekannten die zweckmässigsten Einrichtungen zu beschreiben.

Die Luftwege bestehen aus einer Trachealcanüle, Zuleitungsröhren und accessorischen Ventilapparaten.

Jede Art von Canülen kann, wenn sie die erforderlichen Dimensionen besitzt, zur Einführung in die Trachea benutzt werden; sie muss nur leicht einzuführen sein, dem Lumen nach der Trachealröhre nahe kommen und sowohl mit der Trachea, als mit den Zuleitungsröhren ohne Mühe fest verbunden werden können.

Die auf Taf. II Fig. 13 und 14 und auf Taf. I Fig. 2 abgebildeten Trachealcanülen sind vollkommen zweckentsprechend. Fig. 13 stellt eine Canüle für Hunde dar, welche aus zwei zusammengelötheten Messingröhren besteht. Die eine Röhre, mit schief abgeschnittenem Ende, trägt zwei Reifen und dient zur Einführung in die Trachea; die zweite, mit einem Reifen, wird mit der Zuleitungsröhre verbunden. Die Reifen dienen als Halt für die Befestigung der Schnüre. An der zweiten Röhre befindet sich ein länglicher Spalt, dem entsprechend über der Röhre eine bewegliche Hülse mit eben solcher Spalte angebracht ist. Durch Verschiebung der Hülse um die Röhre können die beiden Spalten zur vollen oder nur theilweisen Deckung gebracht werden, wodurch entweder der ganze Spalt oder nur ein beliebiges Theilstück desselben offen bleibt. Dieser Spalt hat sowohl den Zweck, der in die Lunge eindringenden Luft einen grösseren oder kleineren Ausweg zu geben, als auch die aus der Lunge kommende Exspirationsluft entweichen zu lassen. Der Ausgang für die Inspirationsluft ist nothwendig: erstens, um durch Vergrösserung oder Verkleinerung das in die Lunge kommende Luftquantum zu reguliren, zweitens, um die Lungen vor zu starker Ausdehnung zu schützen.

Ganz dasselbe, wie diese von Ludwig angewendete Röhre, leistet auch die in Fig. 14 abgebildete Canüle. Sie besteht aus drei, in einer bestimmten, aus der Zeichnung ersichtlichen Weise zusammengelötheten Röhren. Das längere, horizontale Stück besitzt an einer Seite eine schiefe Oeffnung, an der andern, geschlossenen Seite ein Knöpfchen und wird in die Trachea eingelegt, natürlich mit zur Lunge gekehrter Oeffnung. Das Knöpfchen, welches in das obere Ende der Trachea kommt, wird zum Festschnüren eines Fadens be-

nutzt. Das verticale Zwischenstück besitzt ein stecknadelkopfgrosses Loch, das theils zum Schutz der Lunge, theils zum Austritt der Exspirationsluft dient.

Die in Taf. I Fig. 2 dargestellte kleine Neusilbercanüle wird von Ludwig für Kaninchen in Anwendung gebracht und ist ganz wie die eben beschriebene Hundecanüle eingerichtet. Das obere Horizontalstück *a*, das mit der Zuleitungsröhre verbunden wird, ist an der durch den Streifen *d* im verticalen Zwischenstück angedeuteten Stelle um dieses Stück drehbar, also beliebig zu dem Trachealstück der Röhre einstellbar. Diese Beweglichkeit hat den grossen Vorzug, dass man auch die Zuleitungsröhre von einer jeden Seite zuführen kann; also wenn z. B. an der rechten Halsseite operirt wird, so dreht man die Röhre nach links, wenn man auf beiden Seiten zu operiren hat, nach vorne oder nach hinten u. s. w. Als Zuleitungsröhren benutzt man gewöhnliche, nicht vulcanisirte Kautschukröhren, deren Dimensionen der Trachealcanüle angepasst sind.

Bei Anwendung der beschriebenen Canüle gebrauche ich nach dem in Cl. Bernard's Laboratorium üblichen Vorgange zwei Kautschukröhren, von denen die eine mit der Canüle, die andere mit dem Blasebalge verbunden ist; unter sich sind beide Röhren mittelst des auf Taf. III Fig. 9 abgebildeten Zwischenstückes verbunden. Von den mit Knöpfchen versehenen Enden wird das dickere mit dem breiten Blasebalgrohr, das dünnere mit dem schmäleren zur Trachealcanüle führenden Rohre verbunden. Der lange, in der Mitte des Zwischenstückes befindliche Spalt kann durch Heraufschieben der breiten Kautschukröhre beliebig lange offen gehalten werden, dient also sowohl zur Regulirung der in die Lunge gedrängten Luftmenge, als zum Austritte der aus der Lunge kommenden Exspirationsluft.

Es ist bei vielen Versuchen sehr vortheilhaft, die Exspirations- von der Inspirationsluft zu trennen, sei es, dass die erstere besonders aufgefangen werden soll, oder nur um die Ventilation in der Lunge vollkommener zu machen. Es ist in solchen Fällen natürlich von der Trachealcanüle aus eine Ventilationsvorrichtung anzubringen, welche der Exspirationsluft eine andere Richtung vorschreibt. Eine sehr einfache und deswegen viel verbreitete Ventilvorrichtung ist die von W. Müller angegebene, welche später im 3. Capitel ausführlich beschrieben ist. Diese Ventilationsvorrichtung kann aber aus Gründen, die aus ihrer Construction leicht ersichtlich, nur bei willkürlicher Athmung des Thieres verwendet werden. Für die uns hier interessirenden Zwecke ist sie also unbrauchbar.

Ich gebrauche ein kleines Ventil, das auf Taf. IX Fig. 3 abgebildet ist und sehr gute Dienste leistet. Dasselbe besteht aus einem hermetisch schliessenden Kästchen, dessen vordere Wand auf der Zeichnung abgenommen ist. Dieses Kästchen, welches auf einem verticalen Stabe in beliebiger Höhe einstellbar ist, besitzt drei in Röhrchen auslaufende Oeffnungen: *L* für die Trachealcanüle, *B* für den Blasebalg und die obere *E*, die frei in die Luft mündet. Im Innern des Kästchens befinden sich zwei Metallplättchen *a* und *b*, die unter einem nicht ganz geraden Winkel mit einander verbunden sind; die Seiten dieser Platten, welche den Oeffnungen zugekehrt sind, sind mit dünnem Leder überzogen. Beide Plättchen sind um eine im Winkel befindliche Achse leicht drehbar, wobei abwechselnd die eine oder die andere Oeffnung von der benachbarten Platte verschlossen wird.

Wenn die Luft aus dem Blasebalg zur Lunge geht, so wird die Platte *a* nach oben an die Oeffnung *E* gedrückt, die sie verschliesst; die Luft gelangt also

nur in die Lunge. Im entgegengesetzten Falle, wenn der Druck von *L* nach *B* geht, wird die in Folge ihrer Schwere wieder herabgefallene Platte *b* an die Oeffnung gedrückt, die Luft dringt also durch *E* hinaus. Ein an dem Plättchen *b* angebrachtes Bleigewicht *c* befördert das Herunterfallen und das feste Anliegen des Ventils. Diese Ventilvorrichtung hat bei grosser Einfachheit den Vortheil der fast absoluten Trennung der Exspirations- von der Inspirationsluft und bietet ausserdem dem aus der Lunge kommenden Luftstrome gar keinen irgend wie in Betracht kommenden Widerstand.

Czermak hat eine Canüle zur künstlichen Athmung angegeben, welche mit einer Ventilvorrichtung versehen ist, die zwar nicht ganz sicher wirkt, aber den Vorzug noch grösserer Einfachheit besitzt und leicht hergestellt werden kann. Dieselbe besteht aus einem kurzen Stück eines Glascylinders, der von beiden Seiten mit Korken verschlossen ist. Der eine Kork besitzt eine Bohrung, durch welche eine mit dem Blasebalg zu verbindende Glasröhre durchgelassen wird. Der andere trägt zwei Röhren, von denen die eine für die Trachea, die zweite, frei in die Luft mündende, für die Exspirationsluft bestimmt ist. Die Mündung der letzteren, engeren Röhre entspricht der Lage nach genau der Mündung des Blasebalgrohres, dem sie fast bis zur Berührung genähert ist.

Ueber die Mündung der Blasebalgcanüle ist eine elastische Membran gespannt, die zwei Seitenspalten hat. Wird die Luft aus dem Blasebalge getrieben, so wölbt sich der mittlere Theil dieser Membran und verschliesst die Mündung der Exspirationsröhre: die Luft dringt daher nur in die Trachealröhre; wird dagegen die Luft aus der Lunge in den Glascylinder hineingeblasen, so legt sich diese Membran an die Blasebalgröhre und verschliesst sie auf diese Weise: die Luft kann also entweichen. Die Ausführung dieses Ventils lässt einige Vervollkommnungen zu, die es für viele Zwecke ganz ausreichend machen.

Wenn vergleichende Versuche gemacht werden sollen zwischen künstlicher und natürlicher Athmung, so ist es nothwendig, die Ventilvorrichtung schon bei dieser letzteren anzuwenden, um damit jeden Einfluss derselben zu eliminiren.

Als Luftbehälter werden grössere dickwandige Kautschukblasen von kugel- oder spindelförmiger Gestalt, gewöhnliche Blasebälge u. s. w. verwendet. Bei den Kautschukbeuteln müssen an den beiden gegenüberliegenden röhrenförmigen Endstücken zwei Ventile angebracht sein, von denen das eine den Luftstrom von der Blase zur Lunge, das andere von den Lungen in die Blase gestattet. (Blasebälge besitzen bekanntlich immer besondere ventilartige Vorrichtungen.) Da gewöhnlich dieselben Luftbehälter für Thiere verschiedener Grösse und Lungencapacität gebraucht werden, so müssen sie Einrichtungen besitzen, welche die Regulirung der aus ihnen getriebenen Luft in ziemlich weiten Grenzen gestatten. Die oben beschriebenen Vorrichtungen, welche die Menge der in die Lunge hineingetriebenen Luft reguliren, bleiben zum Schutze der Lungen vor zu gewaltsamer Ausdehnung daneben bestehen, können jedoch für beide Zwecke nicht ausreichen.

Die einfachste Art, solche Regulirungen herzustellen, besteht darin, dass man durch specielle Einrichtungen den Grad des Druckes auf die Kautschukblase oder die Excursionsweite des Blasebalgs variiren kann. In allen mir bis jetzt bekannten Apparaten für künstliche Athmung ist es auch diese Vorrichtung, welcher von den Physiologen der Vorzug gegeben wird.

Nur einige der zweckmässigsten Blasebälge sollen hier beschrieben und gezeigt werden, wie eine solche Regulirung bei ihnen zu Stande gebracht wird.

Fig. 1 und 1 *a* Taf. IX stellt einen transportablen Respirationsapparat von N. Gréhant dar, welcher im Laboratorium von Cl. Bernard zuerst zur Anwendung gekommen ist. — *H* ist der Tisch, auf welchem der Apparat fixirt ist; *J* eine zum Tische senkrechte hölzerne Wand, an welcher die eine Seitenfläche des Blasebalgs — nebst Arm — unbeweglich befestigt ist. Die andere Seitenfläche mit Arm (*C*) ist beweglich und trägt das Ventil für den Eintritt der Luft von aussen in die Blase. An der, der Seite *J* gegenüberstehenden Seite des Tisches *H* befindet sich der feste eiserne, oben offene Rahmen, dessen beide horizontalen Leisten zwei Stehlager *G*,*G'* für die Tragzapfen der Welle (aus Schmiede- oder Gusseisen) bilden. Diese Welle trägt das hölzerne Rad *F*, an welchem sich zum Einlegen von Schnüren Furchen befinden; auch das Schwungrad *E* ruht auf derselben.

Die Verlängerung des einen Halszapfens der Welle trägt eine metallene Gabel *A* mit breiten Armen, von welchen der eine etwa um die Hälfte kürzer ist, als der andere. Der längere Arm hat einen Schlitz (Fig. 1), in dem, mittelst einer Schraube verstellbar, der Hebel *B* befestigt ist. Das andere Ende dieses hölzernen Hebels ist mittelst eines Kugelgelenkes mit dem freien Arme *C* des Blasebalgs verbunden. Zu diesem Zwecke besitzt es zwei metallische Ringe, welche etwas nach aussen gebogen sind; zwischen diesen Ringen ruht eine messingene Kugel, die unbeweglich an dem Arme befestigt ist.

Wird nun die Welle gedreht, so beschreibt die Gabel *A* und also das Ende *C* des Hebels *B* einen Kreis; dabei sucht also dieser Hebel dem mit ihm verbundenen Arm des Blasebalgs in der Richtung zur Welle zu bewegen, wobei sich der Blasebalg, wenn die Gabel sich jenseits derselben befindet, öffnet, wenn diesseits, schliesst.

Besonders hervorzuheben ist an diesem Apparate die Einrichtungsweise des Kugelgelenkes, welches eben das Functioniren desselben gestattet. Da der Hebel in gerader Richtung vom Blasebalg zur Welle seiner Länge nach bewegt wird, so müsste der Arm *C* des Blasebalgs auch in dieser geraden Linie sich bewegen. Nun kann aber der bewegliche Arm des Blasebalgs sich nur in einem Bogen bewegen, — das erwähnte Kugelgelenk gestattet ihm eben, in Folge der in einer geraden Linie auf ihn wirkenden Kraft eine kreisförmige Bewegung auszuführen. Während also das mit der Gabel verbundene Ende des Hebels einen Kreis um die Welle beschreibt, bewegt sich der Arm *C* des Blasebalgs in einem Bogen um eine Achse, welche zur Wellenachse senkrecht ist. Die Menge der aus dem Blasebalge herauszutreibenden Luft wird durch den Radius des von diesem Ende des Hebels *B* beschriebenen Kreises bestimmt; dieser Radius kann aber verkleinert oder vergrössert werden, je nach der Stellung, welche ihm mittelst der Schraube in dem Schlitz der Gabel gegeben wird. Man kann auf diese Weise die Excursionen des Blasebalgs beliebig variiren.

Der metallene Bogen *D* (Fig. 1) ist zur Stütze und Führung des Armes *C* bestimmt.

Die Welle kann in verschiedener Weise in Bewegung gesetzt werden, entweder mit der Hand (wozu die Kurbel benutzt wird), oder indem das Rad durch

Uebertragung der Bewegung einer Dampfmaschine oder eines anderen Motors in Rotation gesetzt wird. Die Zahl der in der Zeiteinheit zu machenden Einathmungen kann in diesem Falle dadurch regulirt werden, dass die Bewegung auf die verschieden grossen Kreise übertragen wird.

Dieser Apparat lässt sich leicht herstellen, erfüllt alle Bedingungen, welche man in dieser Beziehung zu stellen hat, und bedarf zu seiner Thätigkeit verhältnissmässig geringer bewegender Kräfte. Er hat überdies den Vortheil leichter Uebertragbarkeit, was in grösseren Laboratorien von Bedeutung ist.

Unbeweglich an dem Sectionstisch befestigte Blasebälge benutzt hauptsächlich Ludwig. Auf Taf. IX Fig. 4 und 5 sind zwei solche von Ludwig construirte Apparate dargestellt.

Fig. 5 zeigt die einfache früher gebrauchte Einrichtung in noch vereinfachter Form. Die obere Wand *c* des Blasebalgs ist unbeweglich befestigt; die untere *b* mittelst der den Arm haltenden Kette *a a*, welche über zwei Rollen geht, in Bewegung zu setzen. Das Herunterziehen des unteren Endes der Kette geschieht am besten mit dem Fusse, welcher in das um eine Achse drehbare Gestell hineinpasst. Durch grössere oder kleinere Excursionen des Fusses werden entsprechend auch die Bewegungen des Blasebalgs regulirt.

Diese Einrichtung hat den Vortheil, dass sie noch weniger Herstellungskosten erfordert als die frühere, und dass sie leichter mit dem Fusse in Bewegung gesetzt werden kann, ein Umstand, der wohl zu berücksichtigen ist, wenn man karg mit Gehülfen versehen ist. Noch viel vollkommener und genauer lässt sich die Excursionsweite bei der neueren Ludwig'schen Einrichtung erzielen. Der Blasebalg ist ganz auf dieselbe Weise wie in dem früheren Apparat an dem Tische angebracht. Sein beweglicher Arm endet in ein kleines metallenes Rad *E* (Fig. 4), das um seine in den Achsenträgern liegende Achse drehbar ist. In einiger Entfernung von diesem Arme befindet sich die Welle *B*, welche an den beiden 40 Centimeter von einander entfernten Beinen des Tisches auf folgende Weise befestigt ist. Zwei Stützlager *M* (Fig. 4 *a*) [1]) werden an die inneren Wände der Beine angeschraubt; an dem Beine, welches das Lager trägt, wird eine weite Oeffnung gebohrt zum Durchlassen des längeren Zapfens der Welle, auf welchem das Rad *A* mit Kurbel befestigt ist; damit der andere Zapfen nicht aus dem Lager kommt, befindet sich auf der Welle eine Hülse *G*, welche mittelst einer Schraube genau neben dem Lager an die Welle angeschraubt wird.

In der Mitte zwischen den beiden Tischbeinen trägt die Welle eine mit einem Ausschnitte versehene Excentrik *D*, welche um den Zapfen *S*, durch den die Welle geht, mittelst einer Schraubenvorrichtung *H* so eingestellt werden kann, dass sie die Welle in verschiedenen Abständen vom Centrum zu umfassen vermag. Diese Excentrik befindet sich dem Rädchen *E* so gegenüber, dass dasselbe auf ihr zu liegen kommt. Wird die Welle in Drehung versetzt, so geht natürlich die Excentrik mit, wobei das Rädchen auf derselben herumgleitet.

Ist nun der Zapfen so eingestellt, dass er sich gerade in der Mitte der Excentrik befindet, so bleibt das Rädchen immer in derselben Entfernung von der Welle *B*, der untere Arm des Blasebalgs ist also unbeweglich. Sowie aber dieser

1) Das zweite ist auf der Zeichnung nicht abgebildet.

Zapfen etwas der Peripherie genähert wird, fängt auch der Arm des Blasebalgs an, sich zu bewegen, und zwar geht er nach oben, wenn der Zapfen unter der Welle ist, und umgekehrt. Je näher der Zapfen der Peripherie gebracht ist, desto grösser sind die Excursionen des Blasebalgs. Man muss aber bei Befestigung des letzteren darauf Acht geben, dass er auch nicht ganz entleert werden darf, wenn auch der Zapfen an der äusseren Peripherie ist, sonst tritt eine Hemmung seiner Bewegung ein.

Dieser Athmungsapparat kann zwar Dank der Kurbel mit der Hand in Bewegung gesetzt werden; es bedarf aber einer ziemlichen Kraft, um seine Bewegung zu unterhalten. Der Gréhant'sche ist, wenn man keinen grösseren Motor besitzt, mit viel geringerer Kraftanwendung zu handhaben.

Um die beschriebenen Blasebälge in Bewegung zu bringen, kann man natürlich auch andere bewegende Kräfte als die menschliche verwenden. Es sind auch von verschiedenen Seiten her verschiedene Motoren vorgeschlagen worden, von denen aber nur zwei bis jetzt Anklang gefunden haben: Gas- und Wasserturbinen. Eine Gasturbine, wie man sie jetzt überall mit 4—5 Pferdekräfte haben kann, arbeitet schon seit Eröffnung der Leipziger physiologischen Anstalt auf eine sehr befriedigende Weise. Sie hat den grossen Vortheil, dass man mit ihr mehrere Athmungsapparate und auch sonstige Vorrichtungen durch Transmissionen gleichzeitig in Bewegung setzen kann. Wegen des Lärmes, welchen solche Maschinen verursachen, und auch wegen einiger anderer Unzuträglichkeiten stellt man sie am besten in Kellerräumen auf.

Will man durch Wasserdruck den Apparat in Bewegung setzen, so wählt man am zweckmässigsten die Gréhant'sche Einrichtung, aus den schon oben auseinandergesetzten Gründen.

Ein Wasserrad aus leichtem Eisenblech von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Meter Radius und etwa $\frac{1}{4}$ Meter Breite, durch den Druck einer gewöhnlichen Wasserleitung in Bewegung gesetzt, genügt für unsere Zwecke vollständig.

Sollte dieser Druck nicht ausreichen, so kann man sich dadurch helfen, dass man im Dachraume ein grosses Wasserreservoir aufstellt, indem man das Wasser von der Leitung aus auf der nothwendigen Höhe erhält, und benutzt nun den Druck dieses Reservoirs als bewegende Kraft.

Diese Motoren besitzen vor gewöhnlichen mit der Hand oder dem Fuss in Bewegung gesetzten Respirationsapparaten noch den Vorzug, die Lufteinblasungen mit grösserer Regelmässigkeit auszuführen.

Es gelingt aber bei einiger Uebung auch, ganz regelmässige Athembewegungen hervorzurufen, wenn man sich nur der menschlichen Kraft als Motors bedient.

Ganz unwillkürlich setzt die Hand oder der Fuss die einmal begonnenen Bewegungen in demselben regelmässigen Rhythmus stundenlang fort: von dieser oft wahrhaft erstaunlichen Regelmässigkeit überzeugt man sich entweder durch ihre directe graphische Aufnahme oder beiläufig an den Athmungsschwankungen des aufgezeichneten Blutdruckes.

Benutzt man zur künstlichen Athmung gewöhnliche Kautschukkugeln, so kann man sie entweder durch eine regulirbare Hebelvorrichtung mit der Hand (Traube) oder durch stärkeres oder schwächeres Zusammendrücken mit dem Fusse in Be-

wegung setzen. (Auch der von Thiry beschriebene Respirationsapparat kann mit Nutzen in Anwendung gebracht werden.)

In Bezug auf die Menge der in jedem Falle einzublasenden Luft lassen sich natürlich keine allgemeinen Regeln feststellen. Das Quantum hängt nicht nur von der Grösse des Thieres, sondern auch von dem Zwecke des Versuchs ab. Bei einiger Uebung wird man ohne alle Schwierigkeiten in jedem gegebenen Falle den Apparat auf die gewünschte Luftmenge einstellen.

Dem Anfänger ercheint oft die Art, wie wir die natürliche Athmung nachahmen, höchst roh und unexact. Er wird aber bald von dieser Meinung abgehen, wenn er sieht, mit welcher, eines Präcisionsapparates würdigen Regelmässigkeit sämmtliche Functionen des Thieres, solche nicht ausgenommen, welche, wie die Thätigkeit der Circulation, in so enger Abhängigkeit von dem Gaswechsel des Blutes stehen, bei künstlicher Athmung stundenlang vor sich gehen.

Ein Uebelstand bei der künstlichen Respiration entsteht oft daraus, dass nach ihrer längeren Dauer die Körpertemperatur um ein bis zwei Grade sinkt; der Grund liegt natürlich darin, dass die niedriger temperirte Luft durch die Trachealöffnung direct in die Lunge gelangt.

Dieser Uebelstand lässt sich aber leicht beseitigen, wenn man einige Schlingen des Kautschukrohres, welches die Luft zur Lunge führt, in ein Gefäss mit warmem Wasser hineinlegt.

Was nun das nähere Operationsverfahren bei Herstellung einer künstlichen Respiration betrifft, so besteht dies in Folgendem: Man spannt die Haut über die leicht durchzufühlende Trachea (natürlich nachdem man die Haare entfernt hat) und spaltet sie in der Länge von drei Fingerbreiten beim Hunde, von $1\frac{1}{2}$ beim Kaninchen, etwas unter dem Ringknorpel. (Ist man seiner Hand sicher, so schneidet man mit demselben Schnitt auch den Hautmuskel durch.)

Sodann wird beim Kaninchen in der Weise verfahren, dass man mit der Präparationsnadel die die Trachea bedeckenden Muskelbündel der Faserung nach trennt, wobei man das in der Mitte verlaufende Blutgefäss bei Seite schiebt. Die Trachea liegt dann frei; unter dieselbe wird dann die Nadel auf die bekannte Weise untergeführt, und nachdem man sich überzeugt, dass keine nebenliegenden Gebilde (Laryngei inferiores, kleine Venen) mitgegriffen sind, schiebt man unter die mit der Nadel hervorgehobene Trachea zwei starke Fäden, an welchen lose chirurgische Knoten angebracht werden. Sodann macht man mit der Scheere eine ovale Oeffnung in der Trachealwand und führt in dieselbe die befeuchtete, offene Seite der Trachealcanüle hinein, worauf der entsprechende Faden fester zusammengezogen und mit einem Sicherheitsknoten befestigt wird. Die beiden Enden des Fadens werden dann hinter dem verticalen Ast der Canüle nochmals zusammengebunden, damit sie nicht mehr aus der Oeffnung herausgleiten kann. Das Köpfchen der blinden Seite der Canüle wird dann in das obere Ende der Trachea geschoben, der obere Faden zusammengeschnürt und dessen Enden vor dem verticalen Aste festgebunden.

Die Canüle befindet sich dann in der für die Athmung bequemsten Lage und braucht nur noch im gegebenen Moment mit der Kautschukröhre des Blasebalgs in Verbindung gebracht zu werden. Damit diese Röhre nicht an der Canüle, also auch an der Trachea zerrt, befestigt man sie mit einem Faden an dem Kaninchenbrett.

Bemerkt man eine Blutung beim Einschnitt in die Trachea, so wird mit einem Schwamm oder einem zusammengerollten Stückchen Fliesspapier das in die Trachea gelangte Blut auf das sorgfältigste entfernt; die Befestigung der erwähnten Fäden genügt dann, um jeder ferneren Blutung Einhalt zu thun.

Das Einführen der Canüle geschieht am bequemsten in ähnlicher Weise, wie bei den Arterien; der obere Faden in der linken Hand zieht etwas die Trachea an, während die Canüle, deren verticalen Röhrenast man zwischen Daumen und Zeigefinger hält, auf die beschriebene Art in die Oeffnung hineingebracht wird.

Auf analoge Weise wird auch beim Hunde verfahren. Nachdem die durch den Hautschnitt etwa entstandene Blutung gestillt ist, werden die beiden Musculi sterno-hyoidei von einander entfernt, so dass die Trachea blossliegt. Bei der Entfernung der beiden Muskeln von einander muss man eine sie verbindende Vene entweder vermeiden oder nach Anlegung zweier Ligaturen in der Mitte durchschneiden. Die Trachea wird entweder mittelst einer starken Pincette oder des Zeigefingers isolirt und emporgehoben. Finden sich an der vorderen oder an den Seitenflächen Stücke der Glandula thyreoidea, so müssen diese vorsichtig bei Seite geschoben werden. Die Einführung der Canüle geschieht auf dieselbe Weise wie beim Kaninchen.

Die Trachea des Hundes erscheint gewöhnlich bedeutend enger, als sie es in Wirklichkeit ist; das rührt von einer longitudinalen Faltenbildung an ihrer hinteren membranösen Wand her. Es genügt mit Pincetten die beiden Ränder der aufgeschnittenen Trachea nach rechts und links zu entfernen, um sie auch für die breiteste der üblichen Canülen weit genug zu machen.

Um den blinden Theil der Canüle (Fig. 14 Taf. II) in das obere Trachealende einzuführen, genügt es, die Trachea etwas zu spalten; bei einigem Drucke schlüpft dann dieser Theil leicht hinein.

Ist man genöthigt, die Tracheotomie beim Hunde sehr schnell auszuführen, so geht man nach dem Hautschnitt mit dem Zeigefinger der linken Hand in den Spalt zwischen dem inneren Rand des Sternomastoideus und den Trachealmuskeln hinein, führt ihn hinter die Trachea und hebt sie schnell empor; das weitere Verfahren entspricht ganz dem oben angegebenen.

Bibliographie zu Capitel I. [1])

§. III. Thomas Young: A course of Lectures on natural philosophy etc. London 1807.
C. Ludwig: Archiv für Anatomie und Physiologie von J. Müller. 1847.
Marey: Du mouvement etc. Paris 1868.
§. IV. Cl. Bernard: Introduction à l'étude de la physiologie expérimentale. Paris.
§. V. Arbeiten aus der Physiologischen Anstalt zu Leipzig; herausgegeben von Ludwig. 1866—1874. (Sämmtliche Untersuchungen über ausgeschnittene Froschherzen und andere Organe.)
E. Cyon: Die Leber als Bildungsstätte für Harnstoff. Centralblatt f. med. Wiss. 1870.
§. VI. Pflüger: Physiologie des Electrotonus 1859.
L. Ziegler: Ueber die Brunst und den Embryo der Rehe. Hannover 1843.
Stannius: Beobachtungen über Verjüngungsvorgänge etc. Rostock 1853.

1) Hier werden nur die Hauptwerke, welche direct auf die Methodik Bezug haben, angeführt.

§. VII. Du-Bois-Reymond: Thierische Electricität. Bd. I. p. 458.
Aladoff: Ueber die Erregbarkeit etc. Bull. d. l'Acad. d. Sc. d. St. Petersbourg. 1869. (Anmerkungen von E. Cyon.)
§. VIII. Sanders-Ezn: Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig. 1867.
W. Baxt: Ebendaselbst. 1871.
Czermak: Beschreibung einiger Vorrichtungen. Wiener Sitzungsberichte. 1869.
§. XII. Bernstein: Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre. X.
Holmgren: Upsala läk. sällsk. Handl. II.
Dogiel: Archiv f. Anat. u. Phys. 1866.
Hering und Kratschmer: Wiener Sitzungsberichte. Math.-Naturw. Cl. Bd. LXII.
Cl. Bernard: Comptes rendus. LV.
O. Liebreich: Das Chloralhydrat. Berlin 1869.
Demarquay: Comptes rendus. LXIX.
Hermann: Experimentelle Toxicologie. 1874.
Gscheidlen: Untersuchungen aus dem Würzburger Laboratorium. 1869.
Cl. Bernard: Comptes rendus. LIX und XXXI. Leçons s. les substances toxiques. 1857
Kölliker: Comptes rendus. XLIII. Archiv für pathol. Anat. X. 3.
Traube: Centralblatt für med. Wiss. 1863.
Funke: Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. 1859.
Valentin: Pflüger's Archiv I.
Cl. Bernard: Revue scientifique. 1868 Nr. 11.
Schiff: Archiv für Anat. u. Phys. 1868.
§. XIII. Czermak: Untersuchungen aus einem physiologischen Privatlaboratorium zu Prag. 1864.
Thiry: Rec. des trav. de la soc. méd. Allemande. Paris 1865.
Gréhant: Revue d. Cours scient. 1871.

ZWEITES CAPITEL.

Haemodynamik.

§. 1. Hydraulische Versuche für Vorlesungen.

Die grossen Hoffnungen, welche die Physiologie längere Zeit in die unmittelbare Anwendung der Hydraulik auf die Blutcirculation gesetzt hat, haben bekanntlich in letzterer Zeit durch die Aufhellung der vielen Variabeln, welche in die Circulation eingreifen, eine grosse Enttäuschung erlitten.

Wenn auch in letzter Instanz die Gesetze, welchen das Blut bei seiner Bewegung durch die Gefässbahnen folgt, rein physikalische sind, so sind sie doch durch den complicirten Bau des Canalsystems, durch die eigenthümlichen Eigenschaften der in der Blutflüssigkeit suspendirten Körper, durch die wunderbare Mechanik des Herzens und vor allem durch die fortwährenden regulatorischen Eingriffe des Nervensystems — so verwickelt und so wandelbar, dass die verhältnissmässig elementaren Kenntnisse, welche wir von der Hydraulik besitzen, nur eine sehr entfernte und mehr auf Feststellung der Grundbegriffe beschränkte Anwendung auf die Circulation erfahren können.

Fortwährend wechselt durch den Stoffumsatz die Zusammensetzung des Blutes; das Lumen der Gefässe wird in dem einen Bezirk verengt, in dem benachbarten erweitert; hier erleidet der Blutstrom besondere Widerstände in den Venen, dort findet im Gegentheil eine kräftige Aspiration des Blutes in diese Gefässe statt; hier verbraucht die thätige Drüse grosse Mengen von Blutflüssigkeit, um daraus ihr Secret zu bilden, dort treten durch die Lymphbahnen grössere Quantitäten flüssiger und fester Körper in das Gefässsystem ein. Die Blutmenge, über welche der Organismus zu einer gegebenen Zeit verfügen kann, reicht bei Weitem nicht aus, um alle Theile desselben in volle Thätigkeit zu versetzen. Es muss daher ein fortwährendes Ueberströmen des Blutes von den ruhenden Organen zu den thätigen stattfinden, wobei die ersteren nur diejenige Menge behalten, welche für die Erhaltung ihrer physiologischen Textur gerade ausreichend ist.

Es genügt, sich die Mannigfaltigkeit der organischen Thätigkeit zu vergegenwärtigen, um die Unmöglichkeit einzusehen, die allgemeinen Gesetze des Blutstromes aus den hydraulischen Gesetzen ein für allemal einfach ableiten zu wollen.

Es ist aber auch andererseits kein Verständniss der complicirten bei der Blutcirculation zu Tage tretenden Erscheinungen zu gewinnen, wenn man in jedem speciellen Falle nicht im Stande ist, auf diese Erscheinungen die hydraulischen Gesetze zu appliciren.

Ja, es ist ohne eine genaue Kenntniss der Grundbegriffe der Hydraulik eine richtige Auffassung der Circulationsbestimmungen im Organismus geradezu unmöglich.

Jeder physiologische Lehrer kommt daher in die Lage, als Einleitung zur Blutcirculation zur Erläuterung der Grundbegriffe der Hydraulik und der wichtigsten Gesetze seinen Zuhörern eine Reihe hydraulischer Versuche vorausschicken zu müssen, welche beim Strömen von Flüssigkeiten in verzweigten und elastischen Röhren in Betracht zu ziehen sind. Und so soll denn hier eine Reihe derartiger Versuche und der zu denselben nothwendigen Vorrichtungen, welche bei Vorlesungen zu demonstriren sind, beschrieben werden.

Für alle hydraulischen Versuche ist zunächst ein grosser Wasserbehälter erforderlich, welcher als Druckgefäss fungirt. Dieser Behälter kann aus Eisenblech gefertigt sein und muss etwa 3—4 Meter Höhe und 1 Meter Durchmesser besitzen. Nahe am Boden des Behälters muss ein cylindrischer Hahn an der Ausflussöffnung angebracht sein, welcher an seiner Seite entweder direct oder durch Vermittelung kurzer, fester Kautschukröhren mit der Mündung der hydraulischen Röhren wasserdicht verbunden werden kann. Eine directe, leicht lösliche Verbindung ist natürlich bei Weitem vorzuziehen; sie wird am besten in der Weise hergestellt, dass der Hahn in einen conischen Zapfen ausläuft, der genau in das entsprechend ausgehöhlte Ansatzstück der hydraulischen Röhre passt. Es ist von grossem Vortheil, wenn man diesen Hahn so mit einem einfachen Uhrwerk in Verbindung setzen kann, dass er regelmässiger Umdrehungen fähig wird; dies ist für alle die Versuche von Werth, welche den Unterschied in dem Strome bei unterbrochen und bei ununterbrochen wirkenden Triebkräften darthun sollen.

An der Seite des Wasserbehälters muss ferner ein unten kreisförmig gezogenes Glasrohr eingesetzt sein, das, als Manometer benutzt, den Stand des Wasserspiegels im Behälter anzeigt; man klebt an der einen Seite dieses Manometerrohres einen Papierstreifen mit Centimetertheilung an, für den Fall, dass numerische Werthe erforderlich werden. Für die meisten hydraulischen Versuche ist es erwünscht, die Triebkraft, welche durch die Höhe der Wassersäule gegeben ist, während des Versuches constant zu erhalten. Man kann dies entweder durch eine gewöhnliche Wasserpumpe oder, wenn man eine Wasserleitung besitzt, durch diese bewerkstelligen, indem man sie mittelst eines Kautschukrohres, dessen Querschnitt zu verengern oder zu erweitern geht, mit dem oberen, offenen Theil des Behälters verbindet. Es lässt sich dann leicht der Zufluss zum Behälter nach dem Abfluss reguliren.

Man kann natürlich auch anstatt eines solchen Wasserbehälters einfach die Wasserleitung selbst benutzen; für Demonstrationen ist jener aber vorzuziehen, weil er eine unmittelbare Anschauung von der Grösse der Triebkraft liefert wie von der Abnahme derselben beim Fortschreiten des Wasserstromes durch die hydraulischen Röhren.

Der Wasserbehälter wird auf einem festen Tisch placirt, in der Weise, dass die mit ihm in Verbindung zu setzenden hydraulischen Röhren auf der Fortsetzung des Tisches unmittelbar Platz finden können. Die hydraulischen Röhren, welche auf Taf. X Fig. 9—13 dargestellt sind, reichen für die meisten Versuche vollkommen aus.

Fig. 12 zeigt eine cylindrische Messingröhre von genau gleicher Weite, die an dem einem Ende ein Ansatzstück (*a*) trägt, welches auf die schon angegebene Weise sich mit dem Hahn des Druckgefässes verbinden lässt. Die kleinen Röhrchen (*b*,*b*), welche vertical an dieser Cylinderröhre angebracht sind, dienen zur Aufnahme der Wassermanometer, zu denen einfache cylindrische Glasröhren benutzt werden. Letztere werden am besten in jene Röhrchen sauber eingekittet; sie können aber zur Noth auch einfach hineingesteckt und mittelst hinübergeschobener genau passender Kautschukröhren befestigt werden.

Gebraucht man statt des Messingrohres ein Glasrohr, so werden die Manometer einfach in die Wand eingelassen, oder es werden an dem Rohre metallische Ringe angebracht, welche wie das Messingrohr verticale Fassungen für die Manometer haben.

Auf die Einführung dieser Manometer muss besondere Sorgfalt verwendet werden; sie dürfen nämlich nicht in's Rohr hineinragen. Die Einkittung muss auch derart geschehen, dass das Wasser nicht durch den Zwischenraum zwischen Rohr und Fassung durchsickern kann und das Manometer genau vertical zu stehen kommt.

Fig. 11 stellt eine einfache Verzweigung der früheren Röhren dar, bei welcher die zwei abgehenden Röhren genau unter demselben Winkel gebogen sind; die eine trägt einen Hahn (*b'*) an ihrem Ende, die andere gleich im Beginne der Verzweigung (*b*). Die Fassungen (*c c*) für die Manometer sind wie bei den obigen Röhren. Beide Zweige sind durch mehrere Querarme genau parallel verbunden.

Fig. 13 zeigt eine andere Verzweigungsart, bei welcher beide Zweige unter demselben Winkel wieder in eine gleich weite Röhre zusammenkommen.

Während in den beiden ebenbeschriebenen Röhren der Querschnitt überall gleich gehalten ist, stellt Fig. 10 eine Röhre dar, welche in der Mitte eine grosse cylindrische Erweiterung führt. Fassungen für Manometerröhrchen (*b*,*b*) befinden sich, ausser im ganzen Verlauf, noch dicht vor, sowie nach der Erweiterung und dann genau vor, sowie nach der wieder eingetretenen Verengerung.

Es ist vortheilhaft, noch eine dreimal verzweigte Röhre zu besitzen, bei der zwei Verzweigungen unter scharfen Winkeln abgehen und die dritte die Richtung der ursprünglichen Röhre fortsetzt.

Auch eine Röhre mit abwechselnden Verengerungen und Erweiterungen des ursprünglichen Lumens kann bei mehreren Versuchen mit Nutzen verwendet werden.

Ganz besondere Aufmerksamkeit verdient die in Fig. 9 abgebildete Röhre, welche nach Ludwig's Angabe mit einer besonderen Vorrichtung versehen ist, um die Verschiedenheit des Drucks auf verschiedenen Punkten desselben Querschnittes darzuthun. Der obere Theil der Röhre ist auf der Zeichnung weggelassen, um das Innere sichtbar zu machen. Wir sehen gerade in der Mitte des messingenen Cylinderrohres ein feines, fast capilläres Röhrchen aus Neusilber, das zwei punktförmige Oeffnungen an der der Röhre zugekehrten Seite trägt. Diese feine Röhre setzt sich nach beiden Seiten in zwei durchbohrte messingene Zapfen (*c*,*c*) fort, welche auf entgegengesetzten Seiten das Cylinderrohr durchbohren und dann knieförmig unter geraden Winkeln gebogen sind. Diese Zapfen liegen vor der Biegung in metallischen Hülsen, welche an den Röhren angebracht sind, und passen in dieselben wasserdicht, lassen sich aber in denselben nach rechts und

links bewegen und ausserdem um ihre Längsachse drehen. Bei solchen Bewegungen wird natürlich die zwischen den beiden Zapfen befindliche feine Röhre mitverschoben und zwar so, dass bei der Bewegung nach der einen Seite die eine Oeffnung derselben sich mehr im Centrum, die andere sich mehr in der Peripherie befindet; bei der entgegengesetzten Bewegung ist die Lage dieser Oeffnungen umgekehrt. Die beiden ausserhalb der Hülsen befindlichen, rechtwinklig abgebogenen Arme (*ee*) der Zapfen (*cc*) sind unter einander durch die gabelförmige Glasröhre *d* verbunden. Der Zweck und Gebrauch dieser Anordnung wird unten erläutert werden.

Wie schon oben gesagt, ist der erste, diesen Vorrichtungen zu Grunde liegende Zweck der, das Verständniss der Hauptfactoren, welche bei Flüssigkeitsbewegungen in Betracht kommen, zu erleichtern.

Diese Factoren sind: der Druck, unter welchem die sich bewegende Flüssigkeit steht, die Geschwindigkeit, mit welcher sie strömt, die Widerstände, die sie dabei zu überwinden hat, die Triebkraft, welche die Flüssigkeit in Bewegung setzt.

Alle diese Factoren lassen sich leicht mittelst des Druckgefässes und der auf Taf. X dargestellten cylindrischen Röhren veranschaulichen. Die Triebkraft ist einfach durch die constant zu erhaltende Höhe *H* der Wassersäule im Behälter gegeben.

Der Stand des Wassers in den verticalen Manometerröhren zeigt direct den Druck *D* an, unter welchem die Flüssigkeit in den verschiedenen Abschnitten der Röhre fliesst; streng genommen, zeigen diese Röhren nur den Druck an, welchen die strömende Flüssigkeit auf die Wandung ausübt; dieser ist aber nicht in allen Stromfäden, welche sich in einem zur Stromesrichtung senkrechten Querschnitte befinden, ganz gleich, sondern nimmt von der Peripherie zum Centrum etwas ab.

Diese Abnahme des Druckes lässt sich sehr elegant mit Hülfe der eben beschriebenen Vorrichtung auf Taf. X Fig. 9 nachweisen. Man füllt dazu am besten die Glasröhre mit einer gefärbten Flüssigkeit, die in der Mitte der Röhre von einer Luftblase unterbrochen ist. Verbindet man nun das Ansatzstück (*a*) der Röhre mit dem Druckgefäss und lässt durch dasselbe einen Strom unter hohem Druck fliessen (es ist bisweilen für das Gelingen dieses Versuches der Druck einer Wasserleitung erforderlich), so beobachtet man Folgendes: Befinden sich die beiden punktförmigen Oeffnungen in gleicher Entfernung vom Centrum, so bleibt die Luftblase in der Mitte der Glasröhre stehen; sobald man aber die Zapfen *cc* nach der einen oder der anderen Seite bewegt, so fängt auch die Luftblase an, sich zu bewegen und zwar von der punktförmigen Oeffnung, welche sich nähe zur Peripherie befindet, zu derjenigen, welche dem Centrum näher liegt; die Bewegung der Blase geschieht langsam und hört gewöhnlich auf, wenn sie in dem Schenkel, welcher dieser zweiten Oeffnung entspricht, etwas heruntergestiegen ist; der Unterschied zwischen den Wasserhöhen in den beiden Schenkeln zeigt die Differenz des Druckes zwischen den peripheren und den centralen Stromfäden.

Für das Gelingen des Versuches ist es nothwendig, dass die punktförmigen Oeffnungen der Richtung des Stromes entgegengestellt sind.

Man kann dasselbe zeigen, indem man die beiden Zapfen *cc*, statt mit dem gabelförmigen Glasrohre *d*, mit zwei langen engen Röhrchen verbindet. Ist der

Druck, unter welchem das Wasser fliesst, sehr hoch, so bemerkt man auch kleine Differenzen der Wasserhöhe in diesen beiden Röhren, und zwar zeigen auch diese Unterschiede einen etwas stärkern Druck in den Wand- als in den Achsenfäden.

Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit, welche in allen senkrecht zur Achse stehenden Querschnitten der Röhre die gleiche ist, wird bestimmt, indem man die Menge der in der Zeiteinheit aus der Mündung ausfliessenden Flüssigkeit durch den Querschnitt der Röhre theilt ($V=\frac{q}{l}$ [1]); V = Geschwindigkeit, q = ausströmende Flüssigkeitsmenge und l = Lumen der Röhre). Den Werth von l findet man einfach, indem man den Diameter der cylindrischen Röhre misst, die Menge der ausfliessenden Flüssigkeit, indem man dieselbe während eines bestimmten Zeitraumes in ein calibrirtes Gefäss auffängt.

Die Widerstände lassen sich auch leicht bestimmen. Der erste Widerstand, welchen die Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Druckgefässe in das rechtwinkelig abgehende Rohr findet, ist am besten zu demonstriren durch das Sinken des Druckes, welches in dem ersten Manometerrohre schon beobachtet worden; handelt es sich um eine genaue Messung dieses Druckes, so muss man das erste Manometerrohr noch vor dem Hahne anbringen, direct beim Abgang des Rohres von dem Druckgefässe. Man findet dann den Druckunterschied zwischen dem Behälter und dem Manometerrohre, welcher dem überwundenen Widerstande bei der Ausflussmündung w gleich ist. (Dieses w ist gleich der Hälfte der Geschwindigkeitshöhe F.)

Die Widerstände, welche die Flüssigkeit in Folge der Reibung der einzelnen concentrischen Flüssigkeitsschichten an einander (s. u.) erleidet, lassen sich für jedes Theilstück der cylindrischen Röhre durch die Differenz der von den, an ihren beiden Seiten befindlichen Manometern angezeigten Drucke bestimmen.

Mittelst derselben cylindrischen Röhre lassen sich noch folgende Sätze aus der Hydraulik ableiten:

1. Vom Anfang bis zum Ende des Stromes nimmt in einer gleichweiten Röhre der Seitendruck, unter dem er fliesst, fortwährend und zwar nach einer geraden Linie ab, d. h. die Linie, welche die oberen Spiegel aller Manometer verbindet, ist eine gerade. Wenn die Manometer (wie in der betreffenden Figur gezeigt ist) durch gleiche Abstände getrennt sind, so sind die Druckunterschiede (also die in diesen Abständen überwundenen Widerstände) unter einander gleich. Dies lässt sich bei Offenstehen des Hahns und Durchlassen des Stroms direct beobachten.

2. Die Höhe des Druckes unmittelbar an der Ausflussmündung ist gleich null. Daraus folgt bei einiger Ueberlegung, dass in jedem gegebenen Abschnitt der Röhre der vorhandene Druck gleich ist allen noch zu überwindenden Widerständen. Wenn wir nämlich durch D den Druck in dem ersten Manometer bezeichnen, durch w', w'', w''' die Druckdifferenzen oder, was dasselbe, die Widerstände in den einzelnen Abständen zwischen den Manometern, so folgt aus dem, durch die Beobach-

---

1) Hat man den Werth von V experimentell bestimmt, so lässt sich aus ihm die Geschwindigkeit F berechnen, welche angiebt, aus welcher Höhe ein Körper im luftleeren Raume fallen muss, damit er die gegebene Geschwindigkeit erlangen soll. Es ist $F=\frac{v^2}{4g}$ (g = Fallraum eines Körpers in der Secunde).

tung leicht nachweisbaren Sinken des Druckes auf Null bei der Ausflussmündung: $D-(w'+w''+w''')=0$, oder $D=w'+w''+w'''$.

Ganz auf dieselbe Weise lässt sich auch für jeden gegebenen Abschnitt der Röhren nachweisen, dass der Druck gleich ist den zu überwindenden Widerständen.

Es ist auch leicht verständlich, dass dem so sein muss: die Summen aller bewegenden Kräfte, welche dem Strome im gegebenen Theile der Röhre zur Verfügung stehen, sind = dem an dieser Stelle vorhandenen Druck + der Höhe der Ausflussgeschwindigkeit; da von diesen Kräften an der Mündung nur diese letzte Grösse erhalten bleibt, so ist natürlich der ganze Druck auf Ueberwindung der Widerstände verwendet worden.

3. Aus dem vorigen Satze folgt, dass mit Zunahme der Widerstände an dem Endstücke der Röhre der Druck in der ganzen Röhre zunehmen muss. Dies lässt sich auch mit Hülfe der erwähnten Röhre leicht demonstriren. Es genügt dazu, an der Ausflussmündung eine Kautschukröhre anzubringen, deren Lumen mit den Fingern oder mit einer Klemme nach Art der in Fig. 4 Taf. VI dargestellten allmählich verkleinert wird — sofort sieht man den Druck in sämmtlichen Manometern zunehmen; je enger der Verschluss der Kautschukröhre, desto höher steigt der Druck. Gleichzeitig wird natürlich auch beobachtet, dass die Druckdifferenzen bedeutend abnehmen. Wird das Lumen der Ausflussröhre ganz geschlossen, so erreicht in allen Manometern der Druck die nämliche Höhe wie im Druckgefäss, die Druckdifferenzen werden gleich null und der Strom hört auf.

Diese Abhängigkeit des Druckes von den Widerständen an der Ausflussmündung ist einer der fruchtbarsten Sätze der Hydraulik in ihrer Anwendung auf die Blutcirculation. Hier ist natürlich nicht der Ort, auf diese Anwendung näher einzugehen; ich will dieselbe daher nur andeutungsweise berühren.

Die Widerstände, welche das Blut bei seinem Uebergange aus dem Arteriensystem in die Capillaren findet, sind Dank der Thätigkeit des sympathischen Nervensystems, die das Lumen der kleinen Arterien zu verengern und zu erweitern vermag, fortwährenden Schwankungen unterworfen. Da diese Schwankungen zu derselben Zeit in den verschiedenen Gefässbezirken in verschiedenem Sinne geschehen können, so ist dadurch der weiteste Spielraum für Aenderungen des Blutdruckes und der aus derselben folgenden Blutvertheilungen in diesen Bezirken gegeben.

Man kann aber auch an diesem Satze gleich erkennen, wie unendlich complicirt die Erscheinungen sind, welche dabei im thierischen Organismus in Betracht gezogen werden müssen, und wie vorsichtig man mit der directen Anwendung der hydraulischen Gesetze auf die Blutcirculation sein muss. Die durch Verstärkung der Widerstände in den kleinen Arterien eintretende Drucksteigerung der grossen Blutgefässe ruft eine grössere Spannung in den Herzwänden hervor; diese Spannung ändert aber sowohl direct als durch Vermittelung der regulatorischen Herznervenmechanismen die Thätigkeit des Herzens selbst, was wieder modificirend in den Blutdruck eingreift.

Eine zweite wichtige physiologische Ableitung aus Satz 3 ist die Erklärung, warum in den verschiedenen Abständen des Arteriensystems vom Herzen ceteris

paribus der mittlere Blutdruck so allmählich sinkt, die Druckdifferenzen also ziemlich gering sind. Bei der relativ bedeutenden Blutgeschwindigkeit und der fortwährenden Erweiterung des Strombettes sollte man natürlich ein bedeutend schnelleres Fallen der Druckhöhe vom Herzen zu den Capillaren erwarten.

4. Der eben angeführte Versuch dient auch dazu, zu beweisen, dass mit Zunahme der Widerstände an der Ausflussmündung die Geschwindigkeit abnimmt. Eine einfache Bestimmung der ausfliessenden Flüssigkeitsmenge bei verengter und bei erweiterter Mündung genügt zur Darlegung dieses Satzes.

5. Aus demselben Versuch lässt sich unter Anderem auch indirect der Satz ableiten, dass die Steilheit des Abfalls des Drucks in der Röhre oder die Druckdifferenzen zunehmen, wenn die mittlere Geschwindigkeit des Stromes zunimmt, und umgekehrt.

Ueber diese Abhängigkeit der Druckdifferenzen von der mittleren Geschwindigkeit lässt sich Folgendes aussagen: wenn die Geschwindigkeit des Stromes von 0 bis 100 Mm. in der Secunde zunimmt, so ist die Druckdifferenz $w = av$, wo v die mittlere Geschwindigkeit und a ein empirisch für jede Röhre zu bestimmender Coefficient ist, der kleiner ist als die Einheit. Wächst die Geschwindigkeit über 100 Mm., so ist $w = a\,v + b\,v^2$ [1]), wo b ebenfalls ein empirisch zu bestimmender Coefficient ist.

6. Da die Druckdifferenzen gleich den Widerständen in den verschiedenen Manometer-Abständen sind, so folgt aus demselben Versuche auch, dass ebenso die Widerstände mit der Zunahme der mittleren Geschwindigkeit wachsen.

Betrachten wir den Ursprung dieser Widerstände näher, so wird die Nothwendigkeit des Satzes auch sofort einleuchten. Bei der Bewegung der Flüssigkeit in cylindrischen Röhren haben die verschiedenen Schichten derselben verschiedene Geschwindigkeiten: die an die Röhrenwand grenzende Schicht bleibt durch Adhäsion an dieselbe ganz in Ruhe, während die übrigen concentrischen Schichten sich mit von der Wand zur Röhrenachse zunehmenden Geschwindigkeiten bewegen. Es muss also die Cohäsion zwischen den Theilchen angrenzender Schichten der Flüssigkeit erst überwunden werden, damit die Bewegung möglich wird.

Diese Cohäsion der Theilchen ist auch die Quelle der zu überwindenden Widerstände; daher ist der Widerstand bei verschiedenen Flüssigkeiten verschieden stark und nimmt mit der Erhöhung der Temperatur zu. [2]) Ist nun der Widerstand Folge der Bewegung, so muss er mit der Zunahme der Geschwindigkeit (in einer gleich weiten Röhre) wachsen.

Die Abhängigkeit zwischen den Widerständen in der Röhre [3]) und der Geschwindigkeit des Stromes drückt sich durch die empirisch gefundene Formel aus:

---

1) Eine ähnliche Relation dieser beiden Grössen hat Volkmann auch für elastische Röhren gefunden.

2) Dies erklärt auch, warum die Druckdifferenzen abnehmen unter denselben die Cohäsion vermindernden Einflüssen.

3) Man darf natürlich nicht die an der Ausflussmündung durch Verengerung erzeugten Widerstände mit den in der Röhre durch Reibung der einzelnen Flüssigkeitsschichten entstehenden verwechseln.

$W = av^2 + bv$, wo W den Widerstand, a und b zwei für jede Röhre zu berechnende Coefficienten sind.

Diese Gleichung ist mit der in 5. für die Relation zwischen den Druckunterschieden und der Geschwindigkeit identisch, wie es aus leicht einzusehenden Gründen auch nicht anders zu erwarten war.

7. Besitzt man ein den früheren analog eingerichtetes Rohr, aber von abweichendem Lumen, so lässt sich durch Vergleichung der Steilheit im Abfall der Druckhöhe beider Röhren zeigen, dass die Druckdifferenzen zunehmen müssen bei Abnahme des Durchmessers der Röhre.

8. Schon aus dem sub 1. erläuterten Satze folgt, dass die gerade Linie, welche die Höhe der Drucke verbindet, um so steiler sein wird, je stärker die Röhre ist; dagegen nimmt bei sonst gleichen Bedingungen die mittlere Geschwindigkeit [1]) mit der Länge der Röhre ab. Dies lässt sich durch einen einfachen Versuch demonstriren: man verbindet mit der Röhre (Fig. 12 Taf. X) eine zweite Röhre von demselben Lumen und bestimmt von Neuem die mittlere Geschwindigkeit.

Nicht minder lehrreich sind die Versuche, welche sich mit den auf Taf. X Fig. 11 dargestellten verzweigten Röhren machen lassen. Hier kann man zuerst die Einflüsse, welche die einfache Verzweigung auf Druck und Stromgeschwindigkeit ausübt, studiren; sodann an der Röhre (Fig. 13) den Einfluss des Zusammenströmens der beiden Ströme in dem Endstücke der Röhre u. s. w. Die Hähne werden dabei ganz offen gelassen. Es ist bei diesem wie bei den folgenden Versuchen sehr rathsam, ehe man zur Demonstration derselben schreitet, erst Probeversuche anzustellen, um die Curven zu gewinnen, welche den Gang der Druckverminderung anzeigen. Die von Volkmann gegebenen Curven haben wegen immer vorkommender Unregelmässigkeiten in der Herstellung und Biegung der Röhren nur allgemeine Geltung und müssen im speciellen Falle etwas modificirt werden.

Die Deutung der Curven bietet bei Berücksichtigung der oben abgeleiteten Sätze keine Schwierigkeiten. Sämmtliche Druckschwankungen erklären sich nämlich aus den eintretenden Veränderungen der Geschwindigkeiten bei Aenderung der Weite des Strombettes, aus den bei der Richtungs- und Lumenänderung erzeugten verschiedenen Widerständen, aus dem Zusammenstosse zweier gegen einander gerichteter Ströme u. s. w.

Sodann ist mittelst derselben Apparate eine grosse Reihe sehr instructiver und auf die Blutcirculation anwendbarer Versuche anzustellen durch Einführung von Widerständen im Beginne oder im Ende der verzweigten Röhre; solche Widerstände erzeugt man am leichtesten durch Drehung der Hähne oder Zuklemmung der Kautschukröhren, welche man mit den Mündungen verbindet. Zu berücksichtigen sind bei solchen Versuchen die Veränderungen, welche dadurch im Drucke und in der Geschwindigkeit vor und hinter der Verzweigung, in derselben und in den benachbarten Röhren erzeugt werden.

So ist es z. B. sehr instructiv, an der Vorrichtung (Fig. 11) zu zeigen, wie durch eine kleine Drehung des Hahnes (b) im Beginne der Verzweigung der Druck und die Geschwindigkeit in derselben Röhre ab-, in der anderen zunimmt. Wird dagegen der Hahn (b') am Ende verengt, so tritt in derselben Röhre

[1]) Mittlere Geschwindigkeit ist das Mittel aus den Geschwindigkeiten aller concentrirten Schichten.

(vor der verengten Stelle) eine Druckerhöhung ein, während die Geschwindigkeit abnimmt; gleichzeitig erhält man nun eine ganz unbedeutende Erhöhung des Druckes, aber sehr deutlich ausgesprochene Beschleunigung des Stromes in der benachbarten Röhre.

Die Erscheinungen gestalten sich wieder ganz abweichend, wenn man zu denselben Versuchen die Röhre (Fig. 13) mit wieder sich vereinigenden Stromeszweigen wählt.

In einer Vorrichtung mit 3 Zweigröhren verengt man abwechselnd eine oder zwei Ausflussmündungen und beobachtet die Zunahme der Geschwindigkeit in der freigelassenen Röhre und die Steigerung des Druckes und Abnahme der Geschwindigkeit in den verengten u. s. w. [1])

Eine besondere Besprechung fordern die Versuche, welche mit Röhren angestellt werden, die ihr Lumen wechseln, also Erweiterungen und Verengerungen zeigen (Fig. 10 Taf. X). In solchen Röhren lassen sich beobachten 1. die Wirbelbewegungen, welche bei jeder Lumenänderung entstehen, 2. die dabei stattfindenden plötzlichen Druckabnahmen und 3. das Verhältniss des Druckes und der Geschwindigkeit an den erweiterten und den verengten Stellen.

Die Wirbelbewegungen, welche besonders an den plötzlichen Erweiterungen des Stromes sehr mannigfaltig sind, beobachtet man, indem man ein leichtes Pulver (z. B. Bärlappsaamen) in die Flüssigkeit hineinstreut, oder noch besser, wenn man mittelst einer Sammellinse die betreffende Stelle intensiv beleuchtet. Man sieht in solchen Fällen an den Bewegungen der Pulvertheilchen resp. der Luftbläschen alle die complicirten Stromrichtungen und Wirbel, welche an solchen Stellen entstehen.

Die grossen Widerstände, welche an den Stellen der Lumenänderung eintreten, sind unmittelbar durch die Manometer sichtbar. Diese Widerstände, welche sich durch plötzliche Druckabnahme kundgeben, sind an den Erweiterungen bekanntlich geringer als an den Verengerungen. (Es ist vortheilhaft, das Manometerrohr, welches im Beginne der Erweiterung steckt, beliebig tief in die Röhre hineinschieben zu können. Man beobachtet alsdann, dass an den Stellen, wo die Wirbelbewegungen am intensivsten sind, der Druck höher ist als im Trichter der Erweiterung.) Was nun den Gang der Druckdifferenzen in den engeren und den weiteren Stellen anbelangt, so ergiebt der Versuch, dass die Druckdifferenzen in den engeren Röhren bedeutender sind (der Abfall der Höhen also steiler ist) als in den weiten. Der Grund hiervon ist nach allem Obengesagten klar: — die Reibungswiderstände nehmen in den engen Röhren beträchtlich zu.

Die mittlere Geschwindigkeit ist natürlich in den verengten Stellen grösser als in den erweiterten, da die Geschwindigkeit umgekehrt proportional dem Querschnitte ist, also in den cylindrischen Röhren, mit denen wir es hier zu thun haben, umgekehrt proportional dem Quadrate der Durchmesser). [2]

---

1) Man verbindet zweckmässig solche Versuche mit ähnlichen an den Blutgefässen, wie Zuklemmen der Aorta, der Carotiden, der Vena cava inferior etc , und mit gleichzeitiger Beobachtung der Blutdruckschwankungen und der veränderten Blutgeschwindigkeit in derselben. Solche Versuche gewinnen dadurch bedeutend an Belehrungskraft.

2) Kennt man die Geschwindigkeitshöhe an der Ausflussmündung $F=\frac{v^2}{4g}$, so lässt sich dieselbe für jeden gegebenen Abschnitt der ungleich weiten Röhre bei Berücksichtigung dieses

Wir wenden uns nun zu den Versuchen über die Strombewegung in elastischen Röhren.

Ich werde von diesen auch nur solche beschreiben, die wegen ihrer Anwendbarkeit auf die Blutcirculation zum Verständniss der Rolle beitragen können, welche die Elasticität der Gefässe bei der Blutbewegung spielt.

Da bei constanter und gleichartig wirkender Triebkraft die Gesetze der Flüssigkeitsbewegung für dehnbare Röhren dieselben sind wie für nicht dehnbare, so gilt alles früher Abgeleitete auch für die elastischen Röhren; nur ist natürlich bei diesen letzteren die Ausdehnung zu berücksichtigen, welche sie durch die Spannung der strömenden Flüssigkeit erleiden, da durch diese Ausdehnung ihr Querschnitt vergrössert wird.

Eine unterbrochen wirkende Triebkraft wird erhalten entweder, wenn man den Hahn im Druckgefässe in regelmässigen Intervallen öffnet und schliesst, oder wenn man als Druckgefässe Kautschukblasen benutzt, welche an den beiden Endröhren mit Ventilen versehen sind; (man kann gewöhnliche, für den bekannten medicinischen Zweck benutzte Kautschukkugeln dazu verwenden). Durch periodisches Zusammendrücken dieser Blasen kann man ein ununterbrochenes Einströmen von Flüssigkeit in die zu untersuchenden Röhren schaffen.

Die Haupterscheinung, welche zuerst experimentell zu erklären, ist die Umwandlung des in den Anfang der Aorta unterbrochen einfliessenden Stromes in einen ununterbrochenen.

Von den bei dieser Umwandlung mitwirkenden Momenten sind besonders zu berücksichtigen:

1. die Bedeutung der Widerstände an der Ausflussmündung,
2. die Rolle der Elasticität,
3. der Rhythmus der bewegenden Kraft und
4. die Geräumigkeit der Röhren.

Die dominirende Bedeutung des Widerstandes wird durch den classischen Versuch von E. H. Weber mit zwei communicirenden Gefässen am leichtesten und evidendesten demonstrirt.

Querschnittes leicht erhalten; ist z. B. der Querschnitt zweimal so gross wie an der Ausflussröhre, so ist $F' = \left(\frac{1/2\, v}{4g}\right)^2$, ist er zweimal so klein, so ist $F'' \quad \left(\frac{2v}{4g}\right)^2$ u. s. w. Kennt man aber die Geschwindigkeitshöhen an verschiedenen Stellen und die Grösse der ursprünglichen Triebkraft, so ist der Druck in jedem Abschnitte leicht aus der Formel $D \quad T - F$ zu berechnen; man erhält so, dass in der zweimal weiteren Röhre der Druck $D' - T - F' \quad T - \left(\frac{1/2\, v}{4g}\right)^2$, in der zweimal engeren $D'' \quad T - F'' \quad T - \left(\frac{2v}{4g}\right)^2$; im letzteren Falle muss also von der Triebkraft viermal mehr, in ersteren viermal weniger abgezogen werden, um den Druck zu erhalten. Dies stimmt auch vollkommen mit dem Resultat des Versuches. Es ist klar, dass in ungleich weiten Röhren der Druck nicht überall gleich den noch zu überwindenden Widerständen sein kann — nur an den Stellen, wo der Durchmesser gleich dem der Ausflussmündung ist, wird $D \quad W$ sein; an den anderen Stellen erhalten wir (s. oben die Beweisführung von Donders) $D' = W + F - F'$ für den weiteren Abschnitt, und $D'' = W + F - F''$ für den engeren; da nun $F' < F$ und $F'' > F$ ist, so ist in dem weiten Abschnitte der Druck grösser als die noch zu überwindenden Widerstände ($D' > W$), in dem engeren dagegen ist der Druck geringer als die Widerstände ($D'' < W$).

Man benutzt dazu zwei hohe Glascylinder, welche nahe am Boden zwei Ausflussröhren besitzen; diese Ausflussröhren verbindet man mit einem kurzen Kautschukrohr, das in der Mitte einen kleinen Schwamm führt, oder dessen Lumen durch eine Klemme beträchtlich verengt ist. Nennen wir das eine Gefäss *A*, das zweite *V* und das communicirende Rohr *C*. Füllt man diese beiden Gefässe bis zu einer beliebigen Höhe mit Wasser (dem man bei Demonstrationen im Hörsaale einige Tropfen Anilin oder einer sonstigen farbigen Flüssigkeit hinzusetzt), so steht daselbe natürlich in *A* und *V* auf derselben Höhe. Treibt man nun mit dem einem Ende einer Kautschukpumpe aus *V* eine gewisse Flüssigkeitsmenge in das Gefäss *A*, so wird selbstverständlich in *V* die Höhe der Flüssigkeitssäule geringer, in *A* grösser; die Höhendifferenz hängt von der aus *V* in *A* übergeführten Wassermenge ab. Hört die Thätigkeit der Pumpe auf, so gleicht sich diese Differenz durch die Röhre *C* schnell aus. Macht man aber mit der Pumpe eine neue Ueberführung von Wasser aus *V* in *A*, ehe diese Ausgleichung stattgefunden hat, so wird natürlich die Druckdifferenz zwischen beiden Gefässen noch gesteigert. Bei dem ferneren Wirken der Pumpe wird der Druck der Flüssigkeitssäule in *A* immer höher als in *V*, wenn die Intervalle zwischen je zwei Bewegungen nur kurz genug sind, um die Ausgleichung des Druckes zu verhindern. Nach einigen Zusammenpressungen der Pumpe (deren Zahl von der Schnelligkeit ihrer Reihenfolge abhängt) bemerkt man, dass trotz der fortgesetzten Ueberführung von Flüssigkeit aus *V* nach *A* der Höhenunterschied in beiden Gefässen nicht mehr zunimmt (ausser einer geringen Schwankung während des Zusammendrückens der Blase), sondern von nun an constant bleibt.

Wie Weber gezeigt hat, hängt dies von Folgendem ab: Die Widerstände, welche der in der Röhre *C* befindliche Schwamm (oder das Zuklemmen derselben) der Ausgleichung des durch das Pumpen gestörten Gleichgewichts in dem Stande der Wassersäulen entgegenstellt, bedingen bei fortdauerndem Pumpen eine wachsende Zunahme des Druckunterschiedes in den beiden Gefässen. Dieser Druckunterschied erreicht nach einigen pumpenden Bewegungen eine solche Höhe, dass unter seinem Einfluss aus dem Gefässe *A* nach *V* während der Dauer eines vollen Ablaufs der Bewegung der Blase gerade so viel Wasser von *A* nach *V* zurück-, wie mit der Pumpe aus *V* nach *A* übergeführt wird. Weiteres Pumpen kann dann daher den Druckunterschied nicht mehr steigern.

Es genügt, die Klemme an der Röhre *C* zu lösen oder den Schwamm zu entfernen, um durch Wiederholung desselben Versuches den Gegenbeweis zu liefern, dass es eben dieser Widerstand ist, der die Druckdifferenz zwischen den beiden Gefässen sich ausbilden lässt, welche nothwendig ist, um die ununterbrochene Zurückführung der Flüssigkeit aus *A* nach *V* zu ermöglichen.

Nachdem so die Bedeutung der Widerstände experimentell gezeigt ist, schreitet man zur Demonstration der Rolle, welche die Elasticität der Gefässwände dabei spielt.

Ehe man zu Versuchen mit dem Weber'schen Schema der Blutcirculation übergeht, ist es höchst rathsam, folgenden überaus instructiven Versuch anzustellen, welchen Marey angegeben hat.

Mit dem Hahne des Wasserbehälters verbindet man eine gabelförmige Röhre mit starken Wandungen, welche in zwei gleich weite Röhren ausläuft, von denen

die eine elastisch, die andere fest ist; die elastische Röhre muss an ihrem Anfange mit einem Ventil versehen sein, welches eine Strömung nur in der Richtung vom Druckgefässe zur Ausflussmündung gestattet. Diese beiden Mündungen verengt man gleichmässig, indem man sie am besten mit Korken verschliesst, durch die man gleich weite Metallröhrchen steckt. Man kann den Versuch auch so ausführen, dass man zwei gleich weite Kautschukpumpen benutzt, von deren Ausflussröhren die eine mit einem festen, die andere mit einem dehnbaren Rohre, welche beide auf die beschriebene Weise enden, in Verbindung steht. Beide Röhren (die eine aus Kautschuk, die andere aus Glas) müssen dieselbe Breite und Länge haben, und die Glasröhre muss ausserdem direct, ohne elastisches Zwischenstück, mit der Pumpe verbunden werden. Die Bewegungen der beiden Pumpen werden in demselben Rhythmus und gleich stark mit beiden Händen gemacht.

Der Versuch besteht nun in Folgendem: lässt man in regelmässigem Rhythmus einen unterbrochenen Strom durch die beiden Röhren hindurch, so bemerkt man nach einigen Bewegungen der Pumpen, dass die Flüssigkeit aus der Kautschukröhre mit ununterbrochenem Strahle zu fliessen beginnt, während bei der festen Röhre das Ausströmen das Einfliessen nicht überdauert. Der Grund hiervon ist derselbe, wie im vorigen Weber'schen Versuch. Auch hier wird Dank dem Widerstande, welcher sich an der Ausflussmündung befindet, in der elastischen Röhre eine hohe Spannung ihrer erweiterten Wände erzeugt, unter welcher die Flüssigkeit noch auszufliessen fortfährt, wenn der Zufluss auch momentan unterbrochen wird; in der festen Röhre kann dagegen wegen der Incompressibilität des Wassers nach der einen Seite nur so viel Flüssigkeit hineinfliessen, als von der anderen herausfliesst.

In dem früher beschriebenen Weber'schen Versuche mit den offenen Cylindern kann sich in dem einen Cylinder eine höhere, in dem anderen eine niedrigere Spannung ausbilden, weil aus dem Gefässe *A* die Luft durch Steigen des Wassers verdrängt wird, in *V* die Luft das ausgetretene Wasser ersetzt. In einem geschlossenen Röhrensystem, wie in dem Gefässsystem des Thieres oder in dem Weber'schen Schema (aus Darmstücken), kann diese erhöhte oder verminderte Spannung nur erzeugt werden, wenn die Gefässe dehnbar sind. Die Elasticität der Wände spielt mit einem Worte in geschlossenen Röhren bei der Umwandlung der unterbrochenen Strömung in eine ununterbrochene nur die Rolle, dass sie die in Folge der vorhandenen Widerstände eintretende Druckdifferenz zwischen zwei Gefässsystemen sich auszubilden gestattet. Entfernt man die Pfropfen sammt dem engen Röhrchen, so überzeugt man sich sogleich, dass das Ausfliessen aus beiden Röhren ein unterbrochenes ist.

Marey legt in diesem Versuche das Hauptgewicht auf die Elasticität der Wände und lässt dabei die Verengerung der Ausflussröhren ganz ausser Acht. Der eigentliche Zweck dieses Versuchs ist nach ihm der, zu beweisen, dass die Elasticität der Gefässwände dazu dient, die Widerstände zu vermindern, welche das Herz bei seiner Entleerung zu überwinden hat. Er leitet diesen Schluss von der ganz richtigen Beobachtung ab, dass die Menge der aus der elastischen Röhre in der Zeiteinheit ausfliessenden Flüssigkeit bei unterbrochenem Einflusse grösser ist als bei der starrwandigen Röhre. Dieser Unterschied in den Ausflussmengen hängt aber ganz einfach davon ab, dass die elastische Röhre, wenn sie in Folge

der Verengerung an der Mündung sich erweitert, ein viel grösseres Strombett abgiebt, als die feste, und da bei ihr das Ausfliessen auch nach Aufhören des Einfliessens stattfindet, so geht in der Zeiteinheit durch ihre Mündung mehr Flüssigkeit hindurch als bei der festen Röhre. Wäre die Deutung von Marey die richtige, so müsste man erwarten, dass derselbe Unterschied in den Ausflussmengen sowohl beim constanten Fliessen durch beide Röhren als auch bei Wegschaffung der am Ende befindlichen Verengung fortbestehen würde — was aber, wie man sich leicht überzeugen kann, nicht der Fall ist. Die schon von Marey selbst gemachte Beobachtung, dass dieser Unterschied um so ausgeprägter ist, je länger die Intervalle zwischen zwei Einströmungen sind, beweist die Richtigkeit der eben gegebenen Deutung.

Wählt man zu dem oben beschriebenen Versuche eine sehr lange und enge Kautschukröhre, so gelingt es bei einer gewissen Häufigkeit der Stösse auch, ein ununterbrochenes Ausfliessen zu erhalten. Der Grund ist wieder in den grossen Widerständen zu suchen, welche eine lange und enge Röhre erzeugt. Auch in diesem Falle wird die Beschleunigung bei jedem Einströmen nur sehr gering sein.

Auch die Grösse des Elasticitätscoefficienten ist für das Eintreten des ununterbrochenen Fliessens von Bedeutung, und zwar wird dasselbe bei hohem Coefficienten, das heisst bei geringerer Ausdehnbarkeit, früher und vollkommener eintreten als bei niedrigem, wo die Röhre sich bei der Druckabnahme in Folge des Ausfliessens ebenso bedeutend verengert.

Experimentell lässt sich dieser leicht verständliche Satz durch denselben Marey'schen Versuch demonstriren, wenn man zwei Röhren benutzt, deren Elasticitätscoefficienten bedeutend von einander verschieden sind, wie z. B. ein Kautschuk- und ein Darmrohr.

Was nun die Bedeutung der Häufigkeit der Stösse für das Erzeugen der ununterbrochenen Strömung anbelangt, so lässt sich mit derselben Vorrichtung zeigen, dass diese um so leichter eintritt, je grösser diese Häufigkeit ist. Bei einer sehr geringen (für verschiedene Röhren verschiedenen) Anzahl von Einströmungen in der Minute kann der Strom auch bei der elastischen Röhre ein unterbrochener bleiben, da dann die erhöhte Spannung in dem Intervalle genügend Zeit zur Ausgleichung hat.

Wenn der Elasticitätscoefficient der Röhre nicht zu gering und die Ausflussmündung nach Erforderniss verengt ist, so genügt eine Häufigkeit, welche der Zahl der Herzschläge beim erwachsenen Menschen entspricht (60—70 in der Minute), vollkommen. Je geräumiger das Röhrensystem, um so günstiger sind ceteris paribus die Bedingungen für die Umwandlung des unterbrochenen in einen ununterbrochenen Strom; die Ursache liegt auf der Hand: auf einen je grösseren Raum sich der Zuwachs der Flüssigkeitsmenge vertheilt, um so geringer ist an allen Stellen die Schwankung des Druckes.

Die Häufigkeit des Herzschlages, die Grösse der Widerstände in den Capillaren, der hohe Elasticitätscoefficient der Arterien und endlich ihr bedeutender Rauminhalt — sind also alle einer gleichmässigen Blutströmung in hohem Grade günstig.

Ich gehe nun zur Beschreibung der Experimente über, welche mit dem Weberschen Schema der Circulationsorgane gemacht werden können, um sowohl die eben

behandelten Sätze als auch die in elastischen Röhren vorkommende Wellenbewegung zu demonstriren.

Fig. 4 Taf. XI zeigt eine Einrichtung eines Weber'schen Schemas, das in sehr anschaulicher Weise alle an ihr zu beobachtenden Erscheinungen hervortreten lässt. *A* und *B* sind zwei Kautschukblasen, von denen die letztere den Vorhof, die erstere den Ventrikel repräsentirt. *a*, *b* und *c* sind drei Ventilvorrichtungen, welche einen Strom in der durch die Pfeile angezeigten Richtung gestatten.

Die einfache Anordnung dieser Ventile ist auf Fig. 5 derselben Tafel gezeigt; sie bestehen aus einer Kautschukröhre (*a*), deren freies Ende über die Glasröhre (*b*) geschoben ist, während die andere Mündung fest mit einem Korkpfropfen verstopft ist und in der Röhre *c* steckt. Diese Kautschukröhre trägt an einer Stelle ihrer Wand einen der Länge nach geführten, etwas schiefen Schnitt. Die Wirkungsweise dieser Vorrichtung ist folgende: kommt der Wassertrom von der Röhre *b* her, so gelangt das Wasser leicht durch diesen Schnitt in die Röhre *c* und von da weiter; zurück kann dieses Wasser von der Röhre *c* in *b* aber nicht gelangen, weil der Schlitz, welcher bei von innen wirkendem Drucke klaffend bleibt, sich bei von aussen kommendem schliesst.

D und *E* sind zwei gleiche Kautschukröhren, die durch die mit Schwamm gefüllte Glasröhre *C* verbunden sind. Die Kautschukröhre *D*, welche das Arteriensystem repräsentirt, trägt einen Sphygmographen von Mach (*G*) (s. u.), welcher dazu dient, die Pulswelle auf die bekannte Weise graphisch wiederzugeben oder deren Eintritt durch die auf der Zeichnung dargestellte Einrichtung der elektrischen Glocke (*F*) zu signalisiren. Diese Einrichtung besteht darin, dass, wenn der Schreibhebel *d* durch die sich fortpflanzende Welle in die Höhe gehoben wird, er den an ihm befestigten Drath *e* aus der mit Quecksilber und etwas Alkohol (zur Abblendung der Funken) gefüllten Schale *f* herausbringt; dadurch wird der Strom, welcher von dem Elemente *G'* durch den Elektromagneten *F* geschlossen war, geöffnet: der an den Magneten angezogen gewesene Anker *g* springt zurück, und sein anderes Ende schlägt an die Glocke an. Beim Verschwinden der Welle schliesst der Drath *e* durch die Bewegung des Hebels *d* wieder den Strom. An den beiden Röhren *D* und *E* sind bei *r* und *r'* zwei oben schon beschriebene Ludwig'sche Canülen angebracht (Taf. III Fig. 4), welche bei Messungen des Seitendruckes mit Manometern verbunden werden. Diese Manometer können ihre Druckschwankungen entweder auf einer rotirenden Trommel registriren, oder sie sind mit einer Scala versehen und gestatten den Stand des Quecksibers direct abzulesen.

Der ganze Apparat wird, nachdem er vollkommen mit Wasser gefüllt ist, auf folgende Weise in Thätigkeit gesetzt: Zuerst wird mit der rechten Hand die Blase *B* etwas zusammengedrückt (Systole des Vorhofs), wodurch ein Theil ihres Inhalts in die Blase *A* getrieben wird. Sobald dieses Zusammendrücken beendet, wird mit der linken Hand dasselbe mit der Blase *A* vorgenommen (Systole der Kammer), wobei ein Theil ihres Inhalts in die Röhre *D* gelangt. Blase *B* nimmt indessen in Folge ihrer Elasticität ihren früheren Umfang wieder ein, wobei sie aus der Röhre *E* Flüssigkeit in sich aufsaugt (Diastole des Vorhofs); die sich erweiternde Blase *A* saugt noch Flüssigkeit aus *B* ein. Dasselbe Spiel wird nun in regelmässiger Reihenfolge mehrmals wiederholt.

Man beobachtet dabei wegen der grossen Widerstände in *C* schon nach 3—4 Bewegungen der Pumpen, dass die Spannung in der Röhre *D* beträchtlich zugenommen, in *E* ebenso stark abgenommen hat. An den Manometern kann man den ganzen Gang der eingetretenen Spannungsänderungen verfolgen: Bei jeder Diastole des Vorhofs (*B*) sinkt der Druck in der Röhre *E*, bei jeder Systole des Ventrikels (*A*) steigt entsprechend der Druck in *D*; nach 4—5 vollständigen Bewegungen der beiden Blasen bleibt aber schon die eingetretene Druckdifferenz zwischen den beiden Röhren vollständig constant (je nach der Grösse der Widerstände etc. ist diese Druckdifferenz gleich 90—100 Mm., selten mehr), und erzeugen weitere Zusammenpressungen der Blasen nur geringe vorübergehende Schwankungen (Pulsationen). Es ist also nach 4—5 Wirkungen der Pumpen schon ein Spannungsunterschied zwischen den beiden Röhren entstanden, welcher vollkommen genügt, um in derselben Zeiteinheit von der Röhre *D* durch das Capillarsystem *C* gerade soviel Flüssigkeit nach *E* durchzupressen, wie durch die Pumpen *A* und *B* von *E* nach *D* übergeführt wird.

Eine zweite Erscheinungsreihe, welche mit diesem Schema sich demonstriren lässt, bezieht sich auf die Wellen, welche sich in diesem Systeme der Röhren bei der Thätigkeit der Pumpen fortpflanzen, eine positive (Berg-) Welle in der Röhre *D* bei jedem Zusammenpressen der Blase *A*, und eine negative (Thal-) Welle in der Röhre *E* bei jeder Erweiterung der Blase *B*. Diese Wellen, welche durch die Erschütterung der Röhrenwände und der Flüssigkeitssäulen entstehen (die erste durch das Hineinwerfen einer Flüssigkeitsmenge in die Röhre *D*, die zweite durch das Aufsaugen aus *E*), sind an dem Schema gewöhnlich schon mit blossem Auge sichtbar, lassen sich aber auch leicht mit den Fingern oder dem angebrachten Sphygmographen constatiren. Die Hauptpunkte, welche mittelst dieses Schemas in Bezug auf diese Wellenbewegung hervorgehoben zu werden verdienen, sind folgende:

1) Die grosse Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle. Setzt man den Sphygmographen oder den Finger auf das Ende der Röhre *D* auf, so lässt sich leicht zeigen, dass zwischen dem Zusammendrücken der Blase *A* und dem Erscheinen der Welle neben der Röhre *C* ein so geringer Zeitraum (ein kleiner Bruchtheil einer Secunde) vergeht, dass beide Bewegungen zusammenzufallen scheinen.
2) Der Unterschied zwischen der in der Röhre durch das Zusammenpressen der Blasen entstehenden Wellenbewegung und der in Folge des Spannungsunterschiedes zwischen *D* und *E* fortwährend in *D* stattfindenden Strömungsbewegung.

Die dazu mit dem Weber'schen Schema anzustellenden Versuche bestehen am besten zuerst in einer gesonderten Herstellung jeder dieser beiden Bewegungen und dann in deren gleichzeitiger Demonstration.

Unterbricht man die Bewegungen der Pumpen, nachdem man vorher das Maximum der zu erreichenden Spannungsdifferenz hergestellt hat, so dauert die Strömungsbewegung einige Zeit fort, während die Wellenbewegung verschwindet; das Fortdauern der ersteren giebt sich kund sowohl in dem Abschwellen der Röhre *D* und dem Anschwellen der Röhre *E*, als auch in der allmählichen Ausgleichung des Quecksilberstandes in den beiden Röhren. Man kann diese Strombewegung

an den Luftbläschen in der Röhre *C* auch direct sehen. Diese Strömung dauert natürlich nur so lange, bis die Spannungen in den beiden Röhren sich ausgleichen.

Die Wellenbewegung kann gesondert hergestellt werden, indem man die Röhre *D* bei *C* bis zum vollständigen Verschluss des Lumens zusammendrückt und dann die Blase *A* einige Mal zusammenpresst. Durch Verschluss der Ausflussöffnung ist natürlich jede Strömungsbewegung aufgehoben worden — die in der Röhre erzeugte Wellenbewegung lässt sich aber dabei sehr gut beobachten, sowohl mittelst des Fingers und Sphygmographen als auch durch Beobachtung der Druckzunahme in dem Manometer in dem Momente, wo die Bergwelle die betreffende Stelle der Röhre passirt, und der Wiederabnahme dieses Druckes, wenn die Welle vorübergegangen ist. Die Welle wird dabei einigemal, immer schwächer werdend, zurückgeworfen, was an den localen Druckschwankungen im Manometer leicht zu beobachten ist.

Hat man nun diese beiden Bewegungen gesondert demonstrirt, so öffnet man wieder die Röhre *D* und lässt die Pumpen von Neuem spielen, gleichzeitig beobachtet man dabei das gleichmässige Strömen des Wassers durch die Röhre *C* (sichtbar an den Luftbläschen) und die Wellenbewegung auf die eben angegebene Weise. (Man thut wohl, wenn man dabei die Glasröhre *C* durch concentrirtes Licht intensiv beleuchtet.) Wegen der grossen Widerstände, welche die in dieser Röhre enthaltenen Schwämme bieten, pflanzt sich die Welle von *D* nicht durch *C* fort; daher die vollkommen gleichmässige Strömung der Flüssigkeit dieser letzteren, während sie in der Röhre *D* durch die Welle etwas beschleunigt wird.

3) Die in diesem Röhrensystem erzeugte Wellenbewegung trägt, wenn auch relativ nur sehr wenig, zur Fortbewegung der Flüssigkeit bei.

Diess lässt sich leicht daraus beweisen, dass die Fortpflanzung sowohl der positiven Welle in der Röhre *D* als der negativen in *E* in derselben Richtung stattfindet wie die Strömungsbewegung. Die Druckzunahme, welche am Anfange der Röhre *D* (der dem Anfang der Aorta entspricht) durch das Hineinwerfen einer neuen Flüssigkeitsmenge erzeugt wird, pflanzt sich also in demselben Sinne fort, in dem die Bewegung der Flüssigkeit stattfindet.

Das mit einem Manometer versehene Weber'sche Schema lässt sich auch mit Nutzen verwenden, um dem Anfänger den Begriff der Herzarbeit zu erläutern.

Es ist nämlich aus allen bisher angeführten Sätzen hinlänglich klar, dass beim rhythmischen Einströmen von Flüssigkeit in elastische Röhren, welche an ihren Enden mit Widerständen versehen sind, der bei Weitem grösste Theil der von der Pumpe (dem Herzen) ausgehenden bewegenden Kräfte unmittelbar zur Spannung der Gefässwände verwendet wird, die Strömung der Flüssigkeit selbst aber von Stellen höherer zu denen niedrigerer Spannung nur durch das Bestreben nach Ausgleichung der Drücke hervorgebracht wird; die gedehnten Gefässe streben dabei in Folge der Elasticität ihrer Wände, das ihnen normal (d. h. ohne Einwirkung dehnender Kräfte) zukommende Lumen einzunehmen.

Es tritt dabei also eine Aufspeicherung der vom Herzen ausgehenden Kräfte in Form von Spannungen ein, welche dann eine gleichmässige Strömung erzeugen.

Ist einmal durch einige Bewegungen der Pumpen die für die gleichmässige Strömung nothwendige Druckdifferenz zwischen den beiden Röhren erzeugt worden,

so genügt es zur Fortdauer der Strömung, diese Differenz auf derselben Höhe zu erhalten. Da aber dadurch, dass der Spannungsunterschied in der Zeiteinheit eine gewisse Wassermenge aus D in E durchgepresst hat, dieser Unterschied schon verkleinert, die Strömung also verlangsamt werden muss — so genügt es, damit die Strömung die gleiche bleibe, dass in derselben Zeiteinheit dieselbe Flüssigkeitsmenge aus E nach D zurückgeführt wird. Die Arbeit also, welche die Pumpe A zu leisten hat, besteht darin, diese Flüssigkeitsmenge in die Röhre D hineinzuwerfen.

Diese Menge lässt sich natürlich hier leicht bestimmen — nennen wir sie m. Um m in den Anfang der Röhre D zu bringen, muss die Spannung überwunden werden, welche in der Röhre schon besteht; auch diese Spannung lässt sich direct an der Höhe des Quecksilbers im Manometer ablesen [1]) — nennen wir sie H. Die Arbeit, welche zur Ueberwindung dieser Spannung nothwendig ist, ist ganz gleich der, welche erforderlich wäre, um dieselbe Flüssigkeitsmenge m auf die Höhe einer Wassersäule h, welche dem Quecksilberdrucke H gleich ist [2]), zu heben. Die Arbeit, welche also zur Unterhaltung der gleichmässigen Strömung gehört, wird gleich sein dem Producte $m \,.\, h$.

Die Geschwindigkeit, welche dabei der Wassermenge m mitgetheilt wird, müsste eigentlich mit in Rechnung gezogen und die dazu verwendete Kraft $= m \,.\, \frac{v^2}{2g}$ besonders berechnet werden. Die ganze von der Pumpe zu entwickelnde Arbeit, wenn wir sie durch W bezeichnen, wird durch die Gleichung $W = m. \left(h + \frac{v^2}{2g}\right)$ gegeben sein. Die Grösse $m.\frac{v^2}{2g}$ kann aber ohne grossen Schaden aus der Rechnung weggelassen werden, sowohl weil die Geschwindigkeit eine ziemlich geringe ist, als auch weil die Flüssigkeit in die Blase A schon mit einer gewissen Geschwindigkeit anlangt.

Kommt es darauf an, nähere Aufschlüsse über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung, über die Abnahme der Wellenhöhe, das Zurückwerfen der Welle etc. zu erhalten, so kann das Weber'sche Schema nicht mehr benutzt werden. Man wählt am besten zu solchen Untersuchungen lange Kautschukröhren, deren Elasticitätscoefficienten man vorher bestimmt hat, und bringt in einiger Entfernung von einander mehrere Manometer resp. Sphygmographen an, welche auf mit gleichmässiger Geschwindigkeit rotirenden Trommeln ihre Bewegungen aufzeichnen. Aus Gründen, welche weiter unten bei der Beschreibung der Druckmesser einleuchten werden, sind Fick'sche Federmanometer für solche Untersuchungen den Quecksilbermanometern durchaus vorzuziehen.

Zur Erzeugung der rhythmischen Einströmungen können hier schon nur Wasserbehälter mit constantem Drucke benutzt werden, deren Hahnumdrehungen genau durch ein Uhrwerk regulirt werden.

---

1) Ueber die Art, den Druck abzulesen und zu berechnen, siehe unten bei der Beschreibung der Manometer.

2) h lässt sich aus H mit Zuhilfenahme der specifischen Gewichte des Quecksilbers und des Wassers leicht berechnen.

§. II. Formveränderungen und Ortsbewegungen des Herzens.

Trotz der grossen Regelmässigkeit, mit welcher sämmtliche Phasen der Herzbewegungen ablaufen, und der Leichtigkeit, mit welcher sie sowohl durch Oeffnung der Brusthöhle gesehen als auch durch Anlegen der Hand an die betreffende Brustgegend durchgefühlt werden können, — gehört eine genaue Zergliederung derselben zu den schwierigeren Aufgaben der physiologischen Technik. Dies erhellt am besten aus der grossen Anzahl der zur Erklärung der Formveränderungen und der Ortsbewegung des Herzens vorgeschlagenen Theorien, wie auch aus der Möglichkeit, dass vor nicht langer Zeit noch die einfachsten Erscheinungen dieser Bewegungen, wie z. B. die Richtigkeit der bekannten Reihenfolge der Vorhofs- und Ventrikelcontractionen, von einigen Seiten angezweifelt werden konnten.

Die Ursache dieser Schwierigkeiten liegt darin, dass die überaus complicirten Lage- und Formveränderungen der einzelnen Herztheile, theils gleichzeitig, theils nacheinander, so schnell ablaufen, dass nur ein sehr geübtes Auge denselben einigermaassen zu folgen im Stande ist. Meistens gelingt es auch, bei der Beobachtung dieser Bewegungen sich bis zu einem gewissen Grade zu orientiren, wenn man schon vorher möglichst gesondert die einzelnen Erscheinungen zu prüfen Gelegenheit hatte.

Die einfachste Art, die Bewegungen des ganzen Herzens zu beobachten, besteht darin, dass man nach Kürschner's Vorgang die Brusthöhle öffnet und dabei die künstliche Respiration unterhält. Um das Thier unbeweglich zu machen, ist es selbstverständlich vorzuziehen, es mit Curare zu vergiften, statt (wie er es gethan) es durch einen Stich in die Medulla oblongata zu tödten.

Die am Thiere vorzunehmenden Operationen sind ihrer Reihenfolge nach: Blosslegung der Trachea und Einführung der Athmungscanüle, Einspritzung des Curare in das centrale Ende der herauspräparirten V. jugularis externa und Herstellung der künstlichen Respiration. Sodann schreitet man zur Oeffnung der Brusthöhle, die in folgender Weise ausgeführt wird:

Zuerst trennt man auf die bekannte Weise die Haut gerade in der Mittellinie der vorderen Brustwand, indem man das Messer mit etwas stärkerem Drucke führt, um bis zum Sternum die Gewebe zu trennen. Etwa entstehende Blutungen müssen gestillt werden. Sodann macht man einen kleinen, etwa einen Finger breiten Schnitt an der Stelle des Sternumfortsatzes und zieht mit einer starken Pincette den Processus xyphoides aus der Wunde heraus, um bei der Trennung des Sternums in der Mittellinie von ihm geleitet zu werden. Diese Trennung geschieht am besten mit der in Fig. 4 Taf. II abgebildeten Scheere, deren kürzerer, am Ende abgestumpfter Arm in die Brusthöhle hineingeführt wird. Man trennt nun das Sternum in der Mitte durch allmähliches Vorwärtsschieben und Schliessen der Scheere vom Fortsatze angefangen, wobei der Zeigefinger und der Daumen an beide Seiten des Sternums gelegt werden, um der Scheere voranzugehen und dieselbe gewissermaassen zu leiten.

Man muss dabei vermeiden, die Spitze der Scheere nach unten zu richten, sie vielmehr immer in einer, dem Sternum parallelen Richtung, führen. Während die Brusthöhle geöffnet wird, sistirt oder schwächt man die Lufteinblasungen, um so die

Lunge sammt dem Herzen und den grossen Gefässen von der vorderen Brustwand sich entfernen zu lassen. Je mehr man sich der oberen Brustgegend nähert, um so strenger muss man sich mit der Scheere in der Mittellinie halten, da man sonst leicht eine der Art. mammariae durchschneidet.

Es empfiehlt sich auch, wenn es nur angeht, die oberste Spitze des Sternums, das zur Insertion des M. sternomastoideus dient, nicht zu trennen, da man sonst bei tieferer Führung der Scheere leicht eine Vene verletzt, welche, die beiden Vv. jugulares ext. vereinigt und gerade unter dieser Spitze liegt. Im Nothfalle wird diese communicirende Vene vorher doppelseitig unterbunden. Ist die Durchtrennung des Sternums genau auf die vorgeschriebene Weise geschehen, so hat man eine störende Blutung weiter nicht zu fürchten und kann zur Beobachtung des Herzens schreiten.

Ist man aber mit der Scheere nach der einen oder der anderen Seite gerathen und hat eine Art. mammaria verletzt, so giebt sich dieses Missgeschick durch einen starken rothen Blutstrahl kund. Diese Blutung muss sofort gestillt werden, indem man zuerst mit einer soliden Schieberpincette den betreffenden Intercostalraum erfasst und dann einen festen Faden unterhalb der Arterie (etwa einen Finger breit unter dem Schnittrande) durch den Intercostalraum durch- und über dem Schnittrande fest zusammenzieht. Durch Wegnahme der Pincette überzeugt man sich, ob diese Ligatur en masse vollständig zum Ziele geführt hat.

Nur in seltenen Fällen wird man dazu gezwungen, in dem nächsten Intercostalraume eine zweite Ligatur anzulegen und das andere Ende der Arterie noch besonders zu unterbinden.

Durch ein Schwämmchen wird die Wunde gereinigt und durch Spaltung des Pericardiums (mittelst einer Scheere) das Herz zur Beobachtung freigelegt.

Das so blossgelegte Herz kann bei vorsichtiger Ausführung der Operation stundenlang fortfahren, sich zu contrahiren. Bei längerer Beobachtung ist es nur von Zeit zu Zeit nothwendig, durch Näherung der Schnittränder die Brusthöhle vorübergehend zu schliessen, um so das Herz vor zu starker Abkühlung zu schützen. Dasselbe wird theilweise erreicht, wenn man einige Schlingen des zum Lufteinblasen benutzten Kautschukschlauches durch einen mit Wasser von + 25 bis + 30 ° C. Temperatur gefüllten Behälter durchgehen lässt.

Die eintretende Abkühlung des Herzens ist für diese Art von Beobachtungen insofern sogar nützlich, als die durch sie veranlasste Verlangsamung der Herzcontractionen gestattet, deren einzelne Momente genauer ins Auge zu fassen. Zu demselben Zwecke ist es sehr anzurathen, die Herzschläge künstlich zu verlangsamen; man erzielt dies am besten auf die Weise, dass man den einen Vagus mit schwachen Strömen tetanisirt. Soll die Beobachtung längere Zeit fortgesetzt werden, so wird abwechselnd der eine und der andere Vagus dieser Reizung unterzogen.

(Beim Kaninchen ist ohne eine solche künstliche Verlangsamung eine gesonderte Beobachtung der einzelnen Momente der Herzbewegung ganz unmöglich.)

Das Thier, welches für derartige Versuche am geeignetsten, ist unstreitig das Pferd. Die grossen Dimensionen des Herzens, das relativ langsamere Ablaufen der einzelnen Bewegungen gestatten ein genaues Verfolgen der sie begleitenden Orts- und Formveränderungen.

Will man die Beobachtung der Herzbewegungen zum Zwecke irgend einer speciellen Untersuchung in möglichst normalen Lagerungsverhältnissen machen, so reicht das eben beschriebene Verfahren nicht mehr aus. In solchem Falle muss das Herz sichtbar gemacht werden, ohne dass die Brusthöhle geöffnet wird. Dies kann erreicht werden durch Anlegung eines Fensters in der linken Brusthälfte, ohne die Pleura costalis dabei zu verletzen. Eine saubere Ausführung dieser Operation bietet grosse Schwierigkeiten; diese werden aber bei der nöthigen Uebung von einem geschickten Experimentator bald überwunden werden.

Die Operation kann sowohl an Kaninchen als an Hunden vollzogen, doch dürfen nur männliche Individuen gewählt werden. Curarevergiftung ist durchaus erforderlich, weil absolute Ruhe des Objects Hauptbedingung für das Gelingen ist. Das Thier wird in der gewöhnlichen Rückenlage befestigt; nur muss sich der Operirende aus leicht verständlichem Grunde an die linke Seite desselben stellen.

Parallel dem Sternum wird (nachdem das Thier vergiftet und die künstliche Athmung hergestellt ist) vom dritten Rippenzwischenraum aus ein Hautschnitt bis zum sechsten Rippenrande geführt; die Entfernung des Schnittes vom Sternum ist etwa 2—3 Finger breit. Die Hauträndер werden durch die auf Taf. IV Fig. 4 abgebildeten Haken auseinander-, der M. pectoralis major durch einen ihn am Rande fassenden Haken nach vorne und innen gezogen und die 4. und 5. Rippe bis zu den Insertionsstellen am M. serrat. ant. major freigelegt, darauf die im vierten Intercostalraum befindlichen Art. nebst V. intercostales doppelt unterbunden und durchschnitten und sowohl der innere als der äussere Intercostalmuskel schichtweise bis zum Erscheinen der Pleura costalis mittelst Pincette und Präparirnadel abgetragen. Sodann wird zur subperiostalen Resection von Stücken aus der 4. und der 5. oder nur aus einer dieser Rippen geschritten.

Diese Resection ist der zarteste Theil der ganzen Operation und muss sehr vorsichtig ausgeführt werden. Zuerst wird mit einem scharfen gebauchten Messer in der Mitte der Rippe ihrer Längenrichtung nach ein kräftiger Zug geführt, so dass das Periost bis an den Knochen getrennt wird. Dieser Schnitt wird von dem Knorpeltheil der Rippe bis nahe an die Serratusinsertion gemacht. Mit einer Präparirnadel oder dem auf Fig. 9 Taf. II dargestellten stumpfen Spatel [1]) wird das Periost allmählich in der ganzen Länge des zu resecirenden Rippenstückes abgeschält. Nachdem die vordere Fläche der Rippen vom Periost befreit worden ist, wird mit der Nadel auch die hintere sehr vorsichtig von dem Periost getrennt, das man mit der Pleura in Verbindung lässt. Ist nun dies in der gewünschten Ausdehnung geschehen, so überzeugt man sich durch Unterführung eines starken Fadens zwischen Periost und Rippe von der vollständigen Trennung, wobei man durch leichtes Ziehen des Fadens die etwa noch anhaftenden Periostстücke vom Knochen löst.

Erst jetzt wird zur Resection des Rippenstückes geschritten, was entweder mit einer scharfen Scheere oder der Knochenzange (Fig. 1 Taf. I) geschieht. (Dabei muss sorgfältig vermieden werden, durch die Spitze dieser Instrumente die Pleura zu verletzen). Ist alles glücklich mit vollständiger Intactheit der Pleura

1) Auch die auf Taf. I abgebildeten scharfen Spatel (Fig. 4 und 11) können dabei mit Vorsicht gebraucht werden.

gelungen, so sieht man die Ventrikel (hauptsächlich den linken) im durchsichtigen Pericardialsacke sich an der Pleurawand verschieben, und kann nun deren Bewegungen de visu studieren. Der rechte Vorhof ist ganz, der linke zum grössten Theile unsichtbar.

Verlangsamt man noch durch Reizung der Vagi den Herzschlag, so lassen sich die Bewegungen der Ventrikel (Formveränderungen der Herzbasis, Ortsveränderung der Spitze, Drehung des Herzens um seine Längenachse u. s. w.) auf das Genaueste beobachten. Man kann, um durch die Bewegungen der linken Lunge nicht gestört zu werden, die Tiefe der Lufteinblasungen etwas vermindern.

Um die Herzbewegungen in der Brusthöhle beim Frosche zu beobachten, schneidet man ein kleines Fenster im Brustbein heraus. Man macht zuerst einen Hautschnitt etwas mehr nach rechts, um die in der Mittellinie der Bauchwandungen verlaufende Vene zu vermeiden, welche sich später unter einem Bogen nach links wendet. Sodann durchtrennt man die Muskelwandung mittelst einer Scheere, und zwar indem man das Sternum etwas emporhebt, um die darunter liegenden grösseren Gefässe nicht bei der Durchschneidung dieses Knochens mit zu verletzen. Darauf greift man das rechte Ende des Sternums mit der Pincette und schneidet mit der Scheere das Fenster heraus, wobei man sorgfältig die auf dem Wege liegenden Gefässe vermeidet. Schiebt sich die mit Luft gefüllte Lunge hervor, so genügt es, einen Stich in ihr Gewebe zu machen, um sie zum Zusammenfallen zu bringen.

Damit der Frosch bei der Beobachtung bewegungslos liegt, spritzt man ihm mit einer Pravaz'schen Spritze einige Tropfen Curare in die Lymphsäcke ein. Hat man solches nicht bei der Hand, so erreicht man denselben Zweck, wenn man mit einer dicken Nadel einen Stich in die Wirbelsäule macht und durch diese Stichöffnung ein zugespitztes Streichhölzchen in den Wirbelkanal hineinschiebt.

Viel bequemere Objecte für die Beobachtung der Herzbewegungen liefern die Schildkröten. Die Bewegungen sind genügend langsam, und gleichzeitig auch kräftig genug, um genau verfolgt werden zu können.

Dazu kommt, dass Schildkröten noch viel länger und besser alle operativen Eingriffe vertragen als Frösche. Die blossgelegten Schildkrötenherzen schlagen stundenlang kräftig weiter, ohne dass man auch nur die geringste Veränderung oder Schwächung an ihnen wahrnimmt.

Das Blosslegen des Herzens geschieht bei Schildkröten in der Weise, dass man das Thier auf den Rücken legt und entweder mit einer Säge oder mit Meissel und Hammer an beiden Seiten die Verbindungen der Platten löst; hebt man dann die Bauchplatte ab, so liegt das Herz ganz frei vor. (Man könnte auch versuchen, durch Aussägen oder Aushauen eines Fensters an der Bauchplatte nur das Herz allein zu entblössen.)

An derartig frei gelegten, nicht ausgeschnittenen Herzen lassen sich mit blossem Auge mehr oder weniger scharf folgende Erscheinungen verfolgen:

1. die Reihenfolge, in welcher die Systolen und Diastolen der Vorhöfe und der Ventrikel geschehen;
2. die geringe systolische Drehung des Herzens um seine Längenachse von links nach rechts;

3. die Verschiebung der Herzbasis an der Brustwand und das festere Anstossen fast der ganzen vorderen Ventrikelwand an die Brustwand, das die Ursache des so genannten Herzstosses ist. Die blossgelegte Pleura wird dabei nach aussen emporgewölbt. Bei der beschriebenen Anlegung eines Fensters überzeugt man sich auf das Deutlichste, dass dieser Stoss nicht von der Herzspitze allein herrührt. (Man giebt dabei dem Thiere eine solche Neigung, dass die linke Brusthälfte etwas nach unten zu liegen kommt.) Die Ursache dieser Erschütterung der Brustwand liegt bekanntlich nur im Härterwerden der Herzmuskeln bei der Contraction durch die Anspannung, welche sie in Folge der Widerstände in der Aorta und Art. pulmonalis, so zu sagen, um ihren eigenen Inhalt erleiden. Die Verlangsamung des Herzschlages durch schwache Reizung der Vagi kommt dabei um so mehr zu statten, als die gleichzeitige Vergrösserung der Excursionen des Herzens die Bewegung mit viel mehr Relief erscheinen lässt;
4. den Uebergang der Herzbasis von der ellipsoiden Form zur kreisrunden während der Systole der Ventrikel, sowie die Zunahme seines Durchmessers von hinten nach vorne auf Kosten dessen von rechts nach links;
5. das Verbleiben der Herz-Spitze auf derselben Höhe bei der Contraction der Ventrikel.

Die Erscheinungen sub 2—5 lassen sich deutlich nur bei grossen Hunden verfolgen, die sub 4 und 5 viel schöner bei frisch ausgeschnittenen Herzen aller Thiere, wenn man sie mit ihrer hinteren Wand auf eine harte Unterlage legt. Sogar an Froschherzen sieht man das Rundwerden der Basis und das Emporheben der Spitze sehr deutlich.

Hängt man das noch schlagende Säugethierherz an den grossen Gefässen auf, so sieht man das Emporheben der Spitze nach oben, wobei das Herz etwa die Form eines Conus annimmt, dessen Basis die Atrioventricular grenze, dessen Spitze die Herzspitze bildet. Dieses Emporheben der Herzspitze bei den Systolen der Ventrikel ist bekanntlich die Ursache, dass dieselbe nicht nach unten verschoben wird, wenn die Aorta und Lungenarterien sich in Folge der neu einströmenden Blutmenge verlängern.

Man kann sich von diesem letzteren Umstand auch überzeugen, wenn man eine Reihe von Nadeln durch die geöffnete Brustwand in's Herz von der Basis bis zur Spitze einführt. Während die oberen ein geringes Heruntergleiten der Herzbasis anzeigen, bleibt die Spitze auf derselben Höhe.

Eine genaue Erklärung aller dieser Bewegungserscheinungen fehlt bekanntlich bis jetzt, würde auch nicht hierher gehören.

Sehr lehrreich für das Verständniss der Herzbewegungen ist es, das schlagende Herz eines Pferdes oder grösseren Hundes sanft in die Hand zu nehmen; das Starrwerden der Wände, die Veränderung der Herzform bei der Contraction der Ventrikel wird dabei leicht durch die Haut empfunden; nur muss es noch mit Blut gefüllt sein, das Betasten also noch in der Brusthöhle stattfinden.

Der Erfolg aller bisher beschriebenen Beobachtungsweisen hängt natürlich hauptsächlich von der Uebung und dem Beobachtungstalent jedes einzelnen Forschers, also in ziemlich weiten Grenzen von ganz individuellen Eigenschaften ab

— er ist daher nicht immer absolut sicher. Methoden, welche gestatten, wenigstens einige der hier in Betracht kommenden Erscheinungen ganz unabhängig von den subjectiven Eigenschaften des Beobachters zu machen, sind daher von viel höherem Werthe, und die mit ihrer Hülfe errungenen Resultate besitzen auch einen ganz anderen Sicherheitsgrad. Wir wenden uns also nun zur Beschreibung der wichtigsten dieser Methoden. — An der Spitze derselben stehen jedenfalls die von Chauveau und Marey angewandten Explorationsmethoden, welche ihnen erlaubten, die zeitlichen Verhältnisse der einzelnen Phasen der Herzcontraction mit Hülfe der graphischen Methode zu studieren.

Das Princip, welches sie zur Uebertragung der Bewegung der einzelnen Herztheile benutzten, bestand im Allgemeinen darin, dass sie zwei mit einander communicirende elastische Luftbehälter (dünnwandige Kautschukblasen) anwendeten, von denen der eine durch die Bewegung des betreffenden Herztheils comprimirt wurde; die aus ihm herausgetriebene Luft geht durch die flexible Communicationsröhre zur anderen Luftblase, deren Spannung natürlich dadurch erhöht wird: dieser in der zweiten Blase erzeugte Druck wird einem sehr leichten Hebel mitgetheilt, dessen Escursionen auf einem mit regelmässiger Geschwindigkeit vorbeigeführten Papierstreifen aufgezeichnet werden).[1]

Wir werden noch in diesem Capitel bei der Prüfung des Manometers die Bedingungen studieren, welche erfüllt sein müssen, damit eine auf Hebel übertragene Bewegung wirklich von denselben exact wiedergegeben wird. Hier genüge die Behauptung, dass die eben angegebene Uebertragungsweise, was die Wiedergabe der zeitlichen Momente und der Form einer Bewegung anbelangt, vollkommen zuverlässig ist.

Auf Taf. X Fig. 2 ist der Luftbehälter dargestellt, welcher mit dem Schreibehebel in Verbindung steht. Er ist sehr einfach, aber auch höchst zweckmässig gebaut und wird viel in der Physiologie zur Uebertragung der verschiedensten Bewegungen benutzt (Tambour enregistreur von Marey).

Als Grundlage dieses Apparates kann das metallische Kästchen (Tambour) (*a*) betrachtet werden, das etwa 5 Ctm. im Querschnitt und 5 Mm. Höhe hat. Die obere offene Seite dieses runden Kästchens ist mit einer wenig gespannten elastischen Kautschukmembran (*b*) verschlossen. Dieses Kästchen communicirt mit der metallenen Röhre *d*, die in einer Rinne nach vorne und nach hinten verschiebbar ist. Diese Rinne ist in einer Hülse *n* befestigt, welche sich auf der verticalen Stange *g* bewegen kann und durch eine Druckschraube (*f*) in beliebiger Höhe auf ihr fixirt wird. An derselben Hülse ist ein horizontaler Arm angebracht, welcher einen Rahmen für die Achse des Hebels *m* trägt. Der Hebel *m* selbst ist sehr leicht und besteht an seinen beiden Enden (*k* und *l*) aus Aluminium und in der Mitte aus einem bis zur Dünne eines abgeplatteten Strohhalmes reducirten Holzplättchen. Die horizontale Achse geht durch das Anfangsstück aus Aluminium. Zur Einstellung des Hebels dient die Schraube *h*, welche bei der

1) Der ursprüngliche Gedanke und die erste Application desselben zu ähnlichen Zwecken gehört Buisson, der im Jahre 1860 die ersten derartigen Versuche anstellte. Ein amerikanischer Arzt Upham hat zu demselben Zwecke eine ähnliche Uebertragungsweise der Bewegungen versucht.

Drehung nach rechts den Hebel nach vorne, bei der Linksdrehung nach hinten schiebt. Zur Uebertragung der Bewegung der Kautschukmembran auf den Hebel befindet sich in der Mitte derselben eine Scheibe (*c*) aus Aluminium, die in eine Querkante von 6—7 Mm. Höhe ausläuft, auf welcher der Hebel nahe seiner Drehachse ruht. Jede Bewegung der Membran, welche durch das Eintreten von Luft in das Kästchen oder durch das Entweichen derselben entsteht, muss also durch diese Kante auf den Hebel übertragen werden.

Durch die Verschiebung der Röhre *d* in der Rinne kann man den Berührungspunkt der Kante mit dem Hebel der Achse des letzteren näher oder weiter bringen und somit die Excursionen des Hebels grösser oder kleiner machen. Durch Drehung der Schraube *i* kann man das Kästchen und somit auch den Hebel in beliebige horizontale Stellung bringen.

Dem Ende des Hebels wird entweder die nöthige Biegung gegeben (s. die Feder des Sphygmographen), damit es einige Tropfen Tinte führen kann, oder man lässt es in eine Spitze auslaufen, in welchem Falle es auf mit Russ (von einer Wachskerze oder Oellampe) bedecktem Papier schreiben kann).[1] Die Luftbehälter, welche mit den Herzpartien in Verbindung gebracht werden müssen, erhielten von Chauveau und Marey verschiedene Formen. Auf Taf. X stellen Fig. 6 und 7 die sogenannte Doppelsonde vor, welche für den rechten Vorhof und Ventrikel, und Fig. 8 eine einfache Sonde, die für den linken Ventrikel bestimmt ist.

Die beiden Ampullen *v* und *o* werden, die erste in den rechten Ventrikel, die zweite in den entsprechenden Vorhof eingeführt. Die aus biegsamem Gummi bestehende Röhre *tv* durchbohrt die Ampulle *o*, ohne mit ihr zu communiciren, und mündet in der Ampulle *v*; ehe sie in *o* hineingelangt, dringt sie durch die ebenfalls aus biegsamem Gummi bestehende dicke Sonde und kann ihr freies Ende mit der Kautschukröhre *tv* verbunden werden, welche zu dem früher beschriebenen, mit dem Hebel versehenen Luftbehälter führt. *to* ist ein ähnliches Rohr, welches dieselbe Sonde durchbohrt und in der Ampulle *o* endet.

Wie aus der Fig. 7, welche diese Sonde und die Ampulle der Länge nach gespalten zeigt, ersichtlich, communiciren diese Röhren bei ihrem Durchgange durch die Sonden und Ampullen nicht mit einander. Die Ampullen *o* und *v* bestehen aus Kautschukmembranen, welche über einen Metallrahmen gespannt sind. Diese Rahmen werden aus zwei metallenen Knöpfen gebildet, welche einander ihre glatten Flächen zuwenden und in einer Entfernung von 3 Ctm. von einander durch vier an ihren Rändern stehende Stahlstäbchen vereinigt sind. Die Kautschukmembran umschliesst diese Knöpfe und Stäbchen und bildet dadurch in ihrem Innern einen Hohlraum, der vermittelst durch die Knöpfe gebohrter Löcher mit der Röhre *to* resp. *tv* communicirt. Die beiden Knöpfe der Ampulle *o* besitzen Löcher, um der Röhre *tv* einen Durchgang zu gestatten; das obere Loch ist weiter, um die Luft dieser Ampulle in die Röhre *to* eindringen zu lassen. Der untere Knopf der Ampulle *v* besitzt natürlich keine Oeffnung. (S. Fig. 7.)

Die um die Stahlstäbchen gespannte Membran bildet also vier Fenster, welche nach innen oder nach aussen gewölbt werden, je nachdem die Luft in der

1) Die neuesten von Breguet construirten Lufttrommeln sind noch zweckmässiger eingerichtet.

Höhle der Ampulle verdünnt oder verdichtet wird. Werden diese Ampullen comprimirt, so dringt die aus ihnen entweichende Luft in die entsprechende Lufttrommel und treibt also den Hebel in die Höhe; das Umgekehrte findet statt, wenn dieser Druck nachlässt.

Die Einführung der Sonde in die Höhlen des rechten Herzens geschieht durch die rechte V. jugularis externa.

Diese Versuche können nur an grossen Thieren ausgeführt werden; Chauveau und Marey benutzen dazu Pferde, welche auch ausser ihrer Grösse für solche Beobachtungen noch den Vorzug starker und langsamer Herzschläge haben. Man operirt am bequemsten in der Weise, dass die Thiere nur leicht gefesselt in ihrer natürlichen Stellung bleiben. Die ganze Operation ist wenig schmerzhaft, so dass das Thier oft dabei ruhig zu fressen fortfährt.

Durch einen kleinen Hautschnitt wird der untere Theil der V. jugularis ext. blossgelegt, das periphere Ende durch einen festen Knoten verschlossen, während um das centrale provisorisch eine Schleife gelegt wird. Durch einen ausgiebigen Schnitt in der Venenwand von etwa 2—3 Ctm. Länge wird die befeuchtete Ampulle *v* in die Vene hineingeschoben, die Schleife gelöst und darauf die Röhre *tv*, die zweite Ampulle *o* und endlich auch die grosse Sonde hineingebracht.

Der erste Widerstand, auf den man stösst, rührt von dem Ostium venosum her, er wird aber durch einigen Druck überwunden, die Ampulle *v* dringt durch die Klappen und gelangt in den Ventrikel. Die Länge der Röhre *tv* zwischen *o* und *v* ist aber so berechnet, dass, wenn *v* im Ventrikel, *o* im Vorhofe sich befindet.

Der Eintritt von Luft in's Herz ist dabei nicht zu befürchten, da die Sonde das Lumen der Vene vollständig ausfüllt; geringe Quantitäten Luft, die auch eindringen könnten, würden keine Gefahr bieten.

Nach den Erfahrungen Chauveau's zu schliessen, vertragen Pferde diese Operation sehr ruhig und zeigen keine merklichen Störungen in der Circulation und Herzthätigkeit. Sollte aber ausnahmsweise einige Unruhe eintreten, so kann man durch die Einspritzung einer grösseren Dose Chloral in das centrale Ende der V. jugularis dieselbe beseitigen. Dann muss aber die Operation in liegender Stellung des Thieres fortgesetzt werden.

Will man gleichzeitig auch den Herzstoss aufzeichnen lassen, so kann man dies entweder mittelst des etwas weiter unten zu beschreibenden Cardiographen oder mittelst einer Ampulle ausführen, die sich von den früher beschriebenen nur dadurch unterscheidet, dass sie keine Leisten hat. Die sie bildende Kautschukhaut ist stark zwischen zwei metallenen Knöpfen gespannt, welche durch ein centrales Stäbchen mit einander verbunden sind. Diese Ampulle wird in den vierten Intercostalraum, in eine kleine Aushöhlung zwischen den äusseren und den inneren Zwischenrippenmuskeln geschoben. Ein kleiner Hautschnitt, der an dieser Stelle in der Herzgegend gemacht wird, genügt dazu, um mit den Fingern die Fasern des äusseren Intercostalmuskels von einander zu entfernen und eine kleine Aushöhlung für die Ampulle zu bilden.

Will man die Reihenfolge und die Dauer der einzelnen Phasen der Herzcontractionen sowie den Moment des Herzstosses bestimmen, so verbindet man die Endröhren der drei Ampullen mit je einem (oben beschriebenen) Luftkästchen mit

Hebelvorrichtung. Am zweckmässigsten ist es, die drei Kästchen mittelst ihrer Hülsen auf derselben Stange über einander zu befestigen und auch die Hebel derart einzustellen, dass ihre Federn auf der rotirenden Trommel in einer geraden verticalen Linie sich befinden.

Auf diese Weise erhielten Chauveau und Marey [1]) ihre bekannten Curven, welche in Folge der eben angegebenen Einstellungsart denselben Zeitperioden entsprechen.

Ihre Versuche sind bis in die letzte Zeit nicht weiter verfolgt worden, trotzdem es noch mehrere von ihnen nicht berücksichtigte Momente giebt, die eine noch vollständigere Ausbeutung dieser Untersuchungsmethode gestatten würden.

(Die in letzterer Zeit in ähnlicher Richtung, aber zu etwas verschiedenem Zwecke angestellten Untersuchungen von Fick wurden mit Hilfe anderer Vorrichtungen angestellt. Er benutzte zur Einführung in's Herz durch die Carotis oder Jugularis unten offene und mit Seitenöffnungen versehene cylindrische Glasröhren, die er mit seinem Federmanometer in Verbindung setzte.)

Auch am menschlichen Herzen kann man den Stoss, welchen es bei der Ventrikelcontraction der Brustwand mittheilt, graphisch darstellen. Man benutzt dazu besondere Vorrichtungen, Cardiographen genannt, welche auch zuerst von Marey eingeführt worden sind. Zuerst wandte er zu diesem Zwecke das auf Fig. 3 und 4 Taf. X dargestellte, unten zu beschreibende König'sche Stethoskop an. Man legt dieses Stethoskop an die Herzgegend fest an, und nachdem man seine Oeffnung *h* mit dem Marey'schen Luftkanale verbunden, lässt man die Verdichtungen, welche die Luftmasse im Stethoskope und in der Lufttrommel durch die Erschütterung der Brustwand bei der Systole erleidet, auf einem vorbeistreifenden Papiere verzeichnen.

Um das Instrument etwas empfindlicher zu machen, hat Marey den Raum zwischen den beiden Kautschuklamellen statt mit Luft mit Wasser gefüllt.

Später hat er einen besonderen Luftbehälter zum Aufzeichnen des Herzstosses construirt, der auf Taf. X Fig. 1 wiedergegeben ist. Er besteht aus einer offenen Holzkapsel *a*, deren Ränder sich genau an die Haut anlegen und die auf diese Weise bei einigem Druck sich in eine geschlossene Lufthöhle umwandelt. Am unteren Rande trägt sie eine Springfeder *b*, welche mit einer Elfenbeinplatte *c* endet. Durch die Schraube *d* lässt sich die Feder mehr oder weniger spannen und so die für den Spitzenstoss bestimmte Platte *c* in den entsprechenden Intercostalraum hineindrücken.

---

1) Für den linken Ventrikel benutzten Chauveau und Marey die in Fig. 8 Taf. X wiedergegebene Sonde. Die Ampulle hat nur die Dräthe, um welche die Kautschukmembran gespannt ist, und läuft in einen zugespitzten Conus aus. Bei *a* ist sie etwas gebogen und bei *c* besitzt sie einen Vorsprung, um die Lage dieser Biegung bei Einführung der Sonde beurtheilen zu können. Die Einführung geschieht durch die linke Carotis. Um den Widerstand der Semilunarklappen zu überwinden, muss das Moment der Ventrikelsystole abgepasst werden.

Fick hat für den linken Ventrikel eine Vorrichtung benutzt, welche aus einer unten offenen Glasröhre bestand, die ausserdem mit seitlichen Löchern versehen war. Am oberen Ende verband er sie mit seinem Federmanometer. Durch tiefere oder oberflächlichere Einsenkungen der Glasröhre durch die l. Carotis in den linken Ventrikel oder in die Aorta des Hundeherzens konnte er den Druck und seine zeitlichen Schwankungen während der Herzcontraction beobachten.

Der Rückstoss, den diese Platte von der eingedrückten Hautstelle in Folge des Herzstosses erleidet, schiebt sie in die Kapsel zurück; nach Aufhören der Hervorwölbung der Haut wird sie wieder in der Richtung von der Kapsel zur Brustwand gedrängt.

Die Luft in der Kapsel erleidet in Folge davon eine Reihe von Schwingungen, welche sich auf den Hebel der Lufttrommel durch Verbindung der Röhre *e* mit der entsprechenden Röhre *e* dieser Trommel (Fig. 2) übertragen.

Dieser letztere Cordiograph lässt sich nur bei stärkerem Herzschlag, wo der Finger den Spitzenstoss deutlich durchfühlt, mit einigem Nutzen anwenden. Sonst ist die Verbindung mit dem König'schen Stethoskop vorzuziehen.

Eine praktische Verbindung der diesen beiden Instrumenten zu Grunde liegenden Principien findet sich in dem von Burdon-Sanderson construirten Cardiographen verwirklicht. Derselbe ist auf derselben Tafel in Fig. 5 dargestellt. Er besteht aus einer hohlen bronzenen Kapsel *a*, die mit einer Kautschukmembran *b* zu einem Luftbehälter verschlossen ist. Die Membran trägt in der Mitte ein leichtes Metallplättchen *c*. An der Kapsel ist eine Springfeder *d* ganz wie bei Marey angebracht, die gegenüber der Mitte der Kautschukmembran von einer Stahlschraube durchbohrt ist, deren Spitze sich auf das Plättchen *c* stützt und deren Kopf mit einem Knopfe aus Elfenbein *e* versehen ist.

Durch drei Stellschrauben *h,h,h* lässt sich dieser Cardiograph auf der Brustwand einstellen und zwar in der Art, dass der Elfenbeinknopf mit stärkerer oder geringerer Spannung an der Brustwand angebracht wird.

Auch dieser Cardiograph wird mit der Marey'schen Lufttrommel verbunden. In der Kautschukröhre, welche alle als Cardiographen benutzten Vorrichtungen mit dieser Lufttrommel verbindet, ist ein Ventil eingeschaltet, mit welchem man die Spannung der Luft in ihnen reguliren kann.

Genaue Angaben erhält man von dem Cardiographen über die Dauer des Herzstosses und über dessen relative Stärke. Bei der Uebertragung seiner Angaben auf die Herzcontraction selbst muss mit äusserster Vorsicht vorgegangen werden. Es ist vorerst im Auge zu behalten, dass die Stärke des Herzstosses durchaus nicht in directer Beziehung zu der Herzarbeit stehen muss. Da dieser Stoss hauptsächlich durch die Erstarrung der Ventrikelwände erzeugt wird, in Folge der Widerstände, welche das Blut bei seinem Eintritt in den Anfang der Aorta und Art. pulmonalis erleidet, so wird seine Stärke caeteris paribus von der Grösse dieser Widerstände, also von der Höhe des Blutdruckes abhängig sein. Nun kann es aber, besonders in pathologischen Fällen, auch vorkommen, dass das Herz sich dabei nicht vollständig bei der Systole entleert; seine Arbeit wird also relativ gering sein — der Herzstoss aber dabei sehr stark sein können.

Die Resistenz der Brustwände, so wie die gewiss vorkommenden individuellen Abweichungen in der Intensität der Ortsbewegungen des Herzens können es mit sich bringen, dass man aus der Stärke des aufgezeichneten Herzstosses auch nicht immer auf die relative Grösse der Widerstände im Arteriensystem zu schliessen vermag.

Dagegen kann die cardiographische Curve fast immer relativ genaue Angaben über die Form der Herzcontractionen, über deren Zahl und über deren Dauer liefern. Vereint mit an den Arterien gewonnenen sphygmographischen Aufzeich-

nungen können solche Curven werthvolle Aufschlüsse über einige im Herzen und im Gefässsystem des Menschen vorgehende Erscheinungen geben. [1])

Ueber den zeitlichen Verlauf der einzelnen Phasen der Herzthätigkeit lassen sich auch vom Froschherzen mit Leichtigkeit graphische Aufzeichnungen gewinnen. Es genügt dazu, das ausgeschnittene Froschherz auf eine harte Unterlage zu bringen und seine Bewegungen durch ein aufgelegtes Korkstückchen auf einen leichten Hebel (etwa wie der auf der Lufttrommel von Marey befindliche) zu übertragen. Die Einrichtung, welche Marey zu solchen Zwecken benutzte, bestand aus einem Stativ, auf welchem eine kleine Stahlplatte mittelst einer beweglichen Hülse befestigt war. Auf derselben Stange des Stativs bewegt sich mittelst einer zweiten Hülse ein horizontaler Arm, der ein ähnliches Achsenlager mit Hebelvorrichtung trägt, wie die Lufttrommel von Marey (Fig. 2 Taf. X). An diesem Hebel ist nahe der Achse ein verschiebbare Nadelspitze angebracht, die in einem Korkplättchen steckt. Wird das Froschherz auf der Metallplatte unter dieses Korkstückchen gebracht, so hebt es dasselbe während seiner Contraction durch die Kugelgestaltung seiner Basis (Vergrösserung seines Durchmessers von vorne nach hinten) in die Höhe, wobei der Hebel diese Bewegungen verzeichnet.

Auf Fig. 6 Taf. XII ist eine von Czermak getroffene ähnliche Einrichtung (Cardioskop) dargestellt, in welcher zwei Korkplättchen (*b b'*) die Bewegungen des Vorhofs und des Ventrikels gesondert wiedergeben.

Die Korke sind hier mit zwei leicht beweglichen Spiegelchen (*a a'*) versehen, um die Bewegungen des Herzens durch Projection einer grösseren Zuhörerzahl sichtbar zu machen. Die Einrichtung dieses kleinen Apparats ist aus der Zeichnung klar: Die auf dem Stativ *C* bewegliche Holzplatte *B* trägt auf ihrem vorderen Rande vier Achsenlager für zwei leicht bewegliche Achsen *d d'*. Durch Nadeln stehen die Mitten dieser Achsen in Verbindung mit den Korkstückchen *b b'*. Ihre Verbindungsweise mit dem Spiegel ist auf der Zeichnung sichtbar.

Unlängst hat Nüel bei Donders zum Studium der Vaguswirkung ähnliche Vorrichtungen mit Hebeln versehen benutzt. (Einrichtungen, welche viel genauer die Herzbewegungen sowohl bei Säugethieren als auch bei Amphibien zu studieren gestatten, werden unten bei den Manometern beschrieben werden.)

Ich will hier noch kurz die Methoden anführen, welche zur Bestimmung der Zahl der Herzschläge in der Zeiteinheit dienen. (Diejenigen, welche auf Verbindung der pulsirenden Arterien mit Manometern und Sphygmographen beruhen, werden natürlich hier ausgeschlossen, da sie in die nächsten Paragraphen gehören.)

Durch unmittelbares Anlegen des Ohres an die Brustgegend oder der Finger an eine grössere Arterie kann man die Zahl der Schläge in der Minute, wenn sie nicht zu gross ist, genau mittelst einer Secundenuhr bestimmen. Man kann zu demselben Zwecke nach dem Vorgang von Th. Young eine Nadel durch die Brustwand ins Herz der Säugethiere stechen und die Bewegungen dieser Nadel entweder direct oder, indem man sie an eine Glocke oder an ein leeres Glas anschlagen lässt, zählen. (Das Einstechen solcher Nadeln, selbst von der Dicke der Middeldorpf'schen, hat keine schädlichen Folgen für das Herz.)

---

1) Garrod hat besonders sehr zweckmässige Vorrichtungen dazu getroffen, um solche gleichzeitige Aufzeichnungen des Pulses und Herzschlages zu erlangen.

So lange die Zahl der Herzschläge die Grenze von hundert in der Minute nicht überschreitet, ist diese Zählungsart zuverlässig genug. Sobald sie aber darüber hinausgeht (was beim Kaninchen fast immer der Fall ist), so kann deren Anwendung schon zu grossen Irrthümern führen, besonders wenn es sich darum handelt, unbedeutende Veränderungen in der Frequenz der Schläge zu constatiren. Zwar kann man es durch Uebung so weit bringen, Dritttheile und sogar Viertheile einer Secunde noch ziemlich genau zu zählen; man könnte also auch bei 180 Pulsschlägen in der Minute noch besonderer Vorrichtungen entbehren (es wird dabei jeder dritte resp. vierte Herzschlag gezählt), man darf sich aber keinesfalls auf solche Zählungen bei exacten Bestimmungen verlassen. Es ist daher in solchen Fällen erforderlich, zu einer Zählungsart zu greifen, welche von der individuellen Beobachtungsschärfe des Experimentators ganz unabhängig ist; diese kann aber nur durch eine genaue graphische Wiedergabe der Pulsationen geliefert werden.

Es werden in der Physiologie die verschiedenartigsten Apparate zu diesem Zwecke angewendet, von denen wir hier die allein zweckmässigen (die Kymographen ausgenommen) berücksichtigen, die nämlich, welche sich auf elektrische Zeitmessung begründen. Mit Hülfe dieser Methode, welche von Helmholtz zuerst in die Physiologie eingeführt wurde, lässt sich genau der Moment bestimmen, wann eine Bewegung begonnen oder aufgehört hat, bei einer rhythmischen Bewegung also genau die Zahl dieser Bewegungsanfänge signalisiren.

Das Princip dieser Methode besteht darin, dass der Beginn eines Bewegungsvorgangs einem kleinen Metallhebel mitgetheilt wird, welcher der integrirende Bestandtheil einer elektrischen Leitung ist. Beim Stoss, den der Hebel dabei erleidet, wird sein Contact mit einer einstellbaren Schraube gelöst und dadurch der früher geschlossene Strom plötzlich unterbrochen. Der Moment, wo der Strom geöffnet oder geschlossen wird, kann auf die verschiedenartigste Weise graphisch wiedergegeben werden.

Die vorzüglichsten dieser Vorrichtungen sind unten an mehreren Stellen beschrieben und auch abgebildet. Hier wollen wir nur einen Apparat berücksichtigen, welcher am besten dazu geeignet ist, die Contractionen des Herzens direct in solcher Weise auf den Hebel zu übertragen, dass dieser einen Strom zu öffnen oder zu schliessen im Stande ist.

Die Schwierigkeit in der Construction derartiger Vorrichtungen bei Wiedergabe periodisch wiederkehrender Bewegungsvorgänge, wie die Pulsationen des Herzens, besteht darin, die Hebelvorrichtung bei allen möglichen Excursionsweiten immer wieder die Contactschraube erreichen zu lassen.

Es ist in letzterer Zeit Czermak gelungen, diese Schwierigkeit in sehr sinnreicher und zufriedenstellender Weise zu beseitigen, und zwar dadurch, dass er auch die Contactschraube selbst an einen leicht beweglichen Hebel angebracht hat. Ein solcher Apparat, von Czermak der elektrische Doppelhebel genannt, ist auf Taf. XII Fig. 5 nach der letzten Einrichtung, die er von ihm erfahren hat, dargestellt.

B und *C* sind zwei metallene, vorn offene Rahmen, welche, von einander isolirt, auf der Hartgummiplatte *AA'* befestigt sind. Die vorn offenen gabelförmigen Arme dieser Rahmen tragen die Achsenlager für die zwei Wellen *a* und *b*,

von denen *b* den primären Hebel *d*, *a* den secundären *c* trägt. Diese Wellen gehen mit einem Minimum von Reibung in den Achsenlagern, und bleibt der secundäre Hebel *c* trotz seiner grossen Beweglichkeit in jeder ihm von dem primären Hebel ertheilten Stellung von selbst in Ruhe.

Der primäre Hebel *d* trägt in zwei kurzen Armen *e e*, zwischen welchen der Fortsatz *f* des secundären Hebels *c* eingreift, zwei kleine Contactschrauben *g g*, welche sich durch eine eigene Schlüsselvorrichtung beliebig einstellen lassen. Der Contact wird hergestellt, wenn der Fortsatz *f* des secundären Hebels *c* eine dieser Schrauben berührt — unterbrochen, sobald er sich von ihnen entfernt. Der primäre Hebel *d* ist vermittelst der Welle *b* mit dem Zapfen *i* verbunden, welcher mit dem sich bewegenden Theile des Thieres auf eine beliebige Weise in Communication gebracht wird. Auf den Zapfen ist eine feine Metallröhre *k* aufgesetzt, welche mittelst eines aus zwei senkrechten Armen gebildeten, sehr beweglichen Gelenks *m* mit einem Strohhalme *n* zusammenhängt. In das metallene Hütchen *o* des Strohhalmes *n* wird das freie Ende der in's Herz oder in grössere Arterien gesenkten Nadel hineingelegt.

Das Spiel des Apparates ist nun folgendes: Jede Bewegung des Zapfens *i k* wird durch die Welle *b* auf den primären Hebel *d* übertragen; die Bewegungen von *d* bringen die Schräubchen *g* mit dem Fortsatze *f* in Verbindung, welche durch die nachfolgende Bewegung wieder gelöst wird. Da bei dieser Verbindung des Hebels *d* mit dem Hebel *c* dieser letztere den Bewegungen von *d* in sehr weiten Grenzen nachfolgen muss, so ist dadurch die Möglichkeit gegeben, dass der primäre Hebel Bewegungen von beliebiger Excursionsweite ausführen und doch immer mit dem secundären Hebel in Contact gebracht werden kann. Da der primäre Hebel *d* zwei Contactschrauben für den Fortsatz *f* trägt, so ist man dadurch in Stand gesetzt, ein Signal beim Beginn der betreffenden Bewegung, ein zweites beim Aufhören derselben zu erhalten, ein Vortheil, der für viele Fälle sehr hoch anzuschlagen ist. Versieht man eine der kleinen Contactschrauben mit einer Elfenbeinspitze, so kann man nach Belieben auch nur ein einziges Signal erhalten.

Von den accessorischen Einrichtungen dieses Apparates ist noch hervorzuheben, dass die Excursionsweite der Welle *b*, also auch des mit ihr verbundenen primären Hebels, mittelst einer Spiralfeder, die durch die Schraube *p* beliebig gespannt werden kann, regulirt wird. Die gespannte Spiralfeder mässigt nämlich die Bewegungen der Welle *b* und damit auch des primären Hebels *d*.

Die Klemmen 1 und 2 dienen für die Dräthe, welche den beiden Hebeln den Strom zuführen, die Spitze *E* zum Befestigen des ganzen Apparates.

Dieser Czermak'sche Doppelhebel kann mit Vortheil viele andere bis jetzt in der Physiologie verwendete ähnliche Vorrichtungen ersetzen. Durch nur geringe Modificationen in der Ausführung kann man das Princip des Doppelhebels für sehr verschiedenartige Versuche mit Nutzen verwenden.

Will man die Signale, anstatt sie graphisch durch das Herabfallen des Ankers eines Elektromagneten zu registriren, nur durch eine Glocke angeben lassen, so braucht man natürlich dazu nur den zu unterbrechenden Strom durch eine elektrische Glocke zu leiten, wie eine solche auf Taf. XI Fig. 4 dargestellt und oben beschrieben ist.

Man hat es nicht ohne Erfolg versucht, die Bewegungen der in's Herz ge-

steckten Nadel auch direct graphisch wiederzugeben. So hat Brondgeest den Kopf der Nadel durch einen über eine Rolle gehenden Faden mit einer Schreibvorrichtung verbunden, die deren Bewegungen auf der Trommel des Kymographen verzeichnete.

§. III. Herztöne. Herzklappen.

Man hört die beiden Herztöne entweder durch unmittelbares Anlegen des Ohres an die Brustwand oder mit Hilfe besonderer Vorrichtungen: Röhren aus Elfenbein, Hartgummi, Holz und Luftbehälter mit elastischen Wänden. Alle diese Vorrichtungen dienen zur zweckmässigeren Uebertragung der durch die Töne erzeugten Luftschwingungen auf das Gehörorgan.

Das König'sche Stethoskop ist eine Vorrichtung der letzten Art, welche manche Anwendung in der Physiologie gefunden hat. Es ist auf Taf. X in Fig. 3 und 4 dargestellt und besteht aus einer hohlen Metallbüchse *a*, deren untere freie Seite mit zwei Kautschukmembranen *e* und *b* derart verschlossen wird, dass zwischen ihnen ein mit der Röhre *d* communicirender Hohlraum frei bleibt. Der Hahn *c* dient dazu, diese Communication nach Belieben unterbrechen zu können. Das Rohr *d* gestattet es, die Röhre zwischen *e* und *b* beliebig mit Luft oder Wasser zu füllen. Die Kautschukröhre *f* mit dem Knochenendstück *g* fungiren als Zuleitungstheile für das Ohr.

Man kann durch Anlegen der Büchse *a* an die eigene Brustwand und Einführung des Endstückes *g* in's Ohr seine eigenen Herztöne sehr gut hören.

Eine besondere Vorrichtung zum Studium des ersten Herztons haben Ludwig und Dogiel angewendet, um zu entscheiden, ob er im leeren ausgeschnittenen, aber noch schlagenden Herzen, in welchem also keine Bedingungen mehr für die Spannung und Entfaltung der Atrioventricularklappe existiren, noch zu hören ist.

Das ausgeschnittene Herz, dessen sämmtliche Gefässe vorher in solcher Reihenfolge unterbunden wurden, dass es fast ganz blutleer blieb, wurde in einem mit Blut gefüllten Glastrichter aufgehängt, und zwar derart, dass keine Berührung zwischen dem Herzen und den Trichterwänden möglich war. Die untere Mündung des Trichters wurde mit einer elastischen Membrane verschlossen und der Hals des Trichters mit dem eben erwähnten Kautschukrohre des König'schen Stethoskops verbunden. Bei Einführung seines Endröhrchens in's Ohr hörte man nach diesen Beobachtungen bei jeder Systole noch einen Ton, der mit dem normalen ersten Herzton identisch sein soll. Da von Klappenspannung beim leeren Herzen nicht die Rede sein kann, so musste man diesen Ton als ein Muskelgeräusch deuten. (Die Möglichkeit, dass die Herzmuskulatur bei ihrer Zusammenziehung einen Ton erzeuge, ist aber unwahrscheinlich, weil nur eine tetanische Contraction Töne erzeugt, die Herzsystole aber nur eine Zuckung ist, wie Marey auf die von Czermak angegebene Weise mittelst der vom Herzen erzeugten secundären Zuckung eines Froschmuskels erwiesen hat.)

Um das Spiel der Klappe zu demonstriren, schneidet man ein frisches Hundeherz heraus, wobei man von seinen Gefässen soviel als möglich mitnimmt.

Sodann bindet man in die Aorta und eine der Lungenvenen zwei lange Röhren von entsprechenden Dimensionen. Hebt man sie empor und giesst abwechselnd durch die eine oder die andere Röhre Wasser in's Herz, so überzeugt man sich, dass

das Strömen nur nach einer Richtung möglich ist. Man darf dabei die Röhre für die Aorta nicht zu weit wählen, da ihre Klappen sonst zu leicht insufficient werden.

Viel schöner lässt sich das Spiel der halbmondförmigen Klappen mit Hülfe der Methoden, welche Ceradini in Ludwig's Laboratorium verwendet hat, beobachten. Wir wollen hier nur die einfachere der von ihm gebrauchten Veruchsweisen, nämlich die mit Hilfe der Rüdinger'schen Röhren ausgeführte, anführen, und zwar mit seinen eigenen Worten:

„Nachdem die Aorta an dem Punkte, wo ihr aufsteigender Theil in den Bogen übergeht, die Pulmonalis aber gleich unterhalb ihrer Gabelung durchgeschnitten war, werden diese beiden Gefässe in der Weise präparirt, dass sie nur noch vermittelst des aus dem obliterirten Ductus arteriosus entstehenden Ligamentes zusammenhingen; die Coronararterien wurden unterbunden und ebenso die in die beiden Vorhöfe einmündenden Venen mit Ausnahme einer Pulmonalis und der Cava superior, durch welche letzteren mit einer Spritze so lange Wasser in die beiden Herzhälften injicirt wurde, bis es klar aus dem Stumpf der Arterienstämme herauskam. In eben diese wurde dann das offene Ende der Rüdinger'schen Röhre[1]) eingebunden, die vorher ebenfalls mit Wasser gefüllt und mit einem Manometer verbunden worden war. Durch die beiden Venen wurde schliesslich von Neuem so lange Wasser in jede Herzhälfte injicirt, bis der Niveauunterschied des Quecksilbers in den beiden Manometerschenkeln beim linken Herzen 0,^{m} 200 und beim rechten etwa 0,^{m} 023 betrug, entsprechend dem normalen Druck des Blutes in der Aorta bez. in der Pulmonalarterie." — Mit Hilfe von Spiegeln oder auch ohne solche kann man nun durch den Glasdeckel die Stellung und die Bewegungen der Herzklappen beim Zusammendrücken der Herzwände und beim Nachlassen des Druckes sehr gut beobachten. Ceradini nennt diese Vorrichtung ganz zutreffend Speculum cordis.

Die Frage über die Selbststeuerung des Herzens kann durch die Ceradini'schen Versuche als erledigt betrachtet werden. Die Methoden zu deren Studium sind hier deswegen weggelassen.

§ IV. Messungsmethoden des Blutdruckes. Manometrie.

Wir haben im ersten Paragraphen dieses Capitels mit dem Begriff der Kraft, welche man in der Hydrodynamik als Druck der sich bewegenden Flüssigkeit bezeichnet, auch gleichzeitig die einfachste Methode angegeben, diese Kraft zu messen, jene Methode, nach der man in die Wand der Röhre, in welcher sich die Flüssigkeit fortbewegt, senkrecht zur Stromesrichtung eine offene Glasröhre einführt und direct die Höhe abliest, bis zu welcher die Flüssigkeit in derselben steigt. Ganz dieselbe Messungsmethode hat Hales zuerst angewendet, um die Höhe des Druckes zu bestimmen, unter welchem das Blut in den Arterien fliesst. Die Unvollkommenheit einer solchen Messung liegt darin, dass bei dem hohen, in den Arterien bestehenden Druck in die Röhre eine beträchtliche Menge Blutes hineinfliesst und der dadurch entstehende Blutverlust seinerseits den im Arteriensystem herrschenden Blutdruck herabsetzt. Die Zeit, während welcher auf diese Weise der Druck

1) Diese Röhre, dem Durchmesser der betreffenden Gefässe angepasst, ist einige Centimeter lang und besitzt ein offenes und ein mit einem Glasdeckel versehenes Ende; an der Seite hat sie eine Tubularöffnung, die mit einem Manometer verbunden werden kann.

gemessen werden kann, ist auch darum äusserst kurz, weil das schnell eintretende Gerinnen des Blutes in der Röhre nicht selten (besonders beim Gebrauch engerer Röhren) schon das weitere Ausfliessen verhindert, noch ehe die Blutsäule die erforderliche Höhe erreicht hat, um der Spannung in den Gefässen das Gleichgewicht halten zu können.

Immerhin ist die Wiederholung des Hales'schen Versuches bei Demonstrationen sehr anzurathen, weil er dem Anfänger die wirkliche Höhe des Blutdrucks viel anschaulicher macht, als das sonst verwendete Quecksilbermanometer. Es ist dabei durchaus zu empfehlen, das Anfangsstück der Manometerröhre mit einer Lösung von kohlensaurem Natron zu füllen.

Vierordt[1]) benutzt für diesen Versuch ein knieförmiges Rohr, dessen horizontales Anfangsstück nur einige Centimeter lang und mit einem Hahne versehen, — und dessen verticaler Schenkel mindesten zehn Fuss lang ist, da die Blutsäule eine Höhe von acht bis neun Fuss erreicht.

Ein bedeutender Fortschritt im Studium des Blutdruckes ist von Poiseuille durch die Einführung des U-förmigen Quecksilbermanometers in die Physiologie gemacht worden. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, Blutdruckmessungen während längerer Zeit vorzunehmen, also deren Schwankungen unter verschiedenen Einflüssen zu verfolgen.

Die Ablesung der Druckhöhen geschah beim Poiseuille'schen Manometer mittelst eines in Millimeter eingetheilten Papierstreifens, der zwischen den beiden Schenkeln des Apparats auf einem Holzbrettchen befestigt war. Der Blutdruck war gleich der Differenz der Quecksilberniveau's in diesen beiden Schenkeln oder, was dasselbe ist, gleich der Höhe, um welche sich das Quecksilber im offenen Schenkel über sein Ruheniveau erhob, multiplicirt mit zwei. Wenn sich auch die Mitteldrücke mit Hilfe eines Manometers leicht bestimmen lassen, so gestattet es doch eine nur wenig genaue Messung des Quecksilberstandes bei den systolischen Schwankungen des Blutdrucks, da eine solche Messung auf das blosse Auge beschränkt ist. Sogar die äussersten Grenzen dieser Schwankungen können nur annähernd bestimmt werden, über ihren zeitlichen Ablauf aber während des ganzen Actes einer Herzcontraction kann man gar keine Aufschlüsse gewinnen.

Es war daher von grosser Tragweite für die Physiologie, als Ludwig auf der Quecksilberoberfläche einen flottirenden Schwimmer anbrachte, der auf einen mit gleichmässiger Geschwindigkeit sich bewegenden Papierstreifen die Oscillationen des Quecksilbers graphisch aufzeichnete. Erst mit der Construction des Kymographions im Jahre 1847 wurden die bahnbrechenden Untersuchungen von Ludwig, Volkmann und vielen Anderen ermöglicht.

Hier soll zunächst die Construction der am meisten verbreiteten Quecksilbermanometer, sowie die des Fick'schen Federmanometers auseinandergesetzt und sodann zur kritischen Prüfung ihrer Verwendbarkeit für Messungen der verschiedenen Factoren der Blutbewegung geschritten werden.

Der zweite integrirende Bestandtheil des Kymographions, die Vorrichtungen, welche den zur Aufnahme der Blutdruckcurven bestimmten Papierstreifen mit gleich-

---

1) Aus gefälliger brieflicher Mittheilung bekannt.

mässiger Geschwindigkeit in Bewegung setzen, wird wegen seiner ausserordentlichen Wichtigkeit in einem der nächsten Paragraphen gesondert behandelt.

Neben dem soeben kurz beschriebenen, jetzt allgemein bekannten Poiseuille'schen U-förmigen Manometer (das er Haemodynamometer benannte) fand gleich nach Einführung der Quecksilbermanometer die meiste Verbreitung das von Magendie beschriebene Haemo- oder Cardiometer, ein noch jetzt in Frankreich zu Blutdruckmessungen häufig verwendetes Instrument.

Taf. V Fig. 3 zeigt ein solches Cardiometer. Dasselbe besteht aus einem viereckigen Glasflacon *A*, der oben durch einen angeschraubten eisernen Deckel hermetisch verschlossen ist. In diesen Deckel ist die metallene, knieförmig gebogene Röhre *B* eingeschraubt, die auf die übliche Weise mit dem Blutgefässe in Verbindung gesetzt wird. An der Seitenwand dieses Flacons ist das verticale feine Glasrohr *C* angebracht, das auf der einen Seite in eine metallene Rinne *G* mit Mm.-Theilung eingefasst ist und an seiner Spitze eine Seitenöffnung besitzt. Das Lumen dieses als Manometer dienenden Rohrs wird im Flacon durch die quergebogene eiserne Röhre *FF* fortgesetzt, die mit einer nach oben gerichteten grösseren Oeffnung *E* in das Flacon mündet.

Wird der grösste Theil des Flacons und das Manometerohr mit Quecksilber, der Rest des Flacons und die Röhre *BB* mit doppeltkohlensaurem Natron gefüllt, sodann die letztere mit dem Blutgefässe in Verbindung gebracht, so treibt das Blut die Quecksilbersäule in der Röhre *C* in die Höhe, worauf deren Stand direct an der Scala abgelesen werden kann.

Um den mittleren Blutdruck m Arteriensystem direct messen zu können, hat Marey an diesem Apparat eine zweite ganz gleiche Manometerröhre angebracht, die an ihrer unteren Stelle eine capillare Verengerung besitzt. Der grosse Widerstand, den diese Verengerung dem Durchtritte des Quecksilbers bietet, hebt die durch die Herzcontraction verursachten Schwankungen des Blutdruckes ganz auf. Marey nannte das so modificirte Magendie'sche Haemometer — Manomètre compensateur.

Ganz in ähnlicher Weise erreichte auch Setschenow eine directe Messung des mittleren Druckes, indem er in der Mitte der Biegung des gewöhnlichen U-förmigen Manometers einen eisernen Hahn anbrachte. Durch Drehung dieses Hahnes lässt sich die für die Unterdrückung an Druckschwankungen nothwendige Verengerung erzeugen.

Zu vergleichenden Messungen des Blutdruckes in zwei Gefässen hat Cl. Bernard ein Differential-Manometer construirt, das auf Fig. 4 Taf. V dargestellt ist. Das gewöhnliche U-förmige Manometer wird an seinen beiden Enden mit zwei langen Bleiröhren in Verbindung gesetzt, die für die betreffenden Gefässe bestimmt sind. Die Differenz der in ihnen bestehenden Drucke wird direct an der angebrachten Papier-Scala abgelesen.

Die zweckmässigste, mir bekannte Einrichtung des Poiseuille'schen Manometers mit Ludwig'scher Schreibvorrichtung ist die auf Taf. XIII Fig. 2 abgebildete.

Sie ist dem Traube'schen Manometer nachgebildet und unterscheidet sich von diesem nur durch einige Modificationen, welche im Jahre 1867 von mir angebracht und beschrieben wurden. Dank seiner Einführung im Ludwig'schen Laboratorium hat

er jetzt die meiste Verbreitung gefunden. (Auch in Frankreich werden jetzt mehrfach solche nach dem von mir mitgebrachten Modelle construirt).

Die beiden Glasröhren (*a a*), welche das Manometer bilden, laufen unten ganz gerade aus und sind mit einander durch eine eiserne Büchse verbunden, welche gewöhnlich entsprechende Bohrungen unter einem spitzen Winkel besitzt. (In dem ersten nach meiner Angabe von Sauerwald construirten Manometer bestand nach dem Beispiele des Traube'schen dieser Theil aus einer runden Büchse, deren Boden anzuschrauben war; dies hat für die Reinigung der Manometer einen grossen Vorzug.) Das gebogene Ende der zur Gefässverbindung bestimmten Glasröhre geht durch einen noch an dem Brette festgeschraubten konischen Zapfen aus Messing (*b*). Dieser Zapfen passt genau in die entsprechend geformte Oeffnung des Hahns *d* und trägt auf seinem äusseren Rande eine Schraubenvorrichtung, mittelst deren er an den metallenen Hahn befestigt wird. Der Hahn hat die aus der Zeichnung verständliche Krümmung, damit seine T-förmige Bohrung zur leichteren Luftaustreibung bei der Füllung den obersten Punkt einnimmt. Die nach oben gerichtete Oeffnung des Hahns wird mit einem eingeschliffenen Knöpfchen verschlossen. Sein für das Gefäss bestimmtes Ende wird durch einen, dem beschriebenen ähnlichen, Zapfen *e* mit Schraubenvorrichtung mit der Bleiröhre *f* verbunden.

Das Gefässende der Bleiröhre ist aus Messing und trägt einige Einschnürungen zur Befestigung von Kautschukröhren.

Bei dem ursprünglichen Manometer benutzte ich als Schwimmer feine Thermometerröhrchen mit an ihren Enden angeschmolzenen Kügelchen; diese Kügelchen waren gross genug, um nicht in's Quecksilber unterzutauchen, gleichzeitig aber dem Durchmesser der Röhre so angepasst, dass sie bei ihren Bewegungen deren Wände nicht berührten.

Zum Zeichnen der Curven trugen sie feine, sehr leichte Federchen aus Hartgummi mit capillarer Oeffnung auf der einen, und etwas breiterer auf der anderen Seite.

Diese Schwimmer sammt Federn waren hinsichtlich der sauberen Aufzeichnung der Zahl der Herzschläge, deren die auf Auffindung der beschleunigenden Herznerven gerichtete Untersuchung durchaus bedurfte, in hohem Grade zufriedenstellend. Sie haben aber den Nachtheil sowohl ziemlich schwerer Herstellbarkeit (besonders was die Gummifeder mit capillarer Oeffnung anbetrifft), als auch grosser Zerbrechlicheit. Man muss sich daher meistens mit den viel schwereren Schwimmern begnügen, wie sie Fig. 2 darstellt.

Dieser von Ludwig benutzte Schwimmer besteht aus einem dünnen Eisenstabe, der unten in einen dünnen, spitz auslaufenden Elfenbeinzapfen endet; auf diesen Zapfen ist eine dünne Hartgummischeibe aufgeschoben, die auf dem Quecksilberspiegel flottirt, während die Spitze des Zapfens in das Quecksilber taucht.

Die feinen, zum Schreiben benutzten Glasfedern werden in besondere Ringe (*g*) hineingeschoben, welche auf dem oberen Ende dieser Schwimmer angebracht sind.

Für die weitaus meisten Fälle hat die relative Schwere dieses Schwimmers keine besonderen Nachtheile.

Wenn es sich aber darum handelt, bei kleineren Thieren (Kaninchen) mit frequenten und schwachen Herzschlägen die einzelnen Contractionen auch nur ihrer

Frequenz nach zu verfolgen, so ist diese Schwere, welche die Oscillationen des Quecksilbers schwächt und oft unerkenntlich macht, doch störend.

(Es wäre für solche Fälle vielleicht zu empfehlen, das obere Ende dieses Schwimmers mit einem über eine Rolle gehenden Gegengewichte zu verbinden, das in jeder Stellung ihm das Gleichgewicht halten könnte.)

Die Füllung des so eingerichteten Manometers lässt sich sehr leicht auf folgende Weise ausführen:

1. Ehe man den Hahn nebst Ansatzstück mit dem Manometer vereinigt, füllt man mittelst einer Spritze, an deren Mundstück eine fein ausgezogene Glascanüle angebracht ist, das Gefässende des Manometers mit einer Lösung doppeltkohlensauren Natrons.

2. Sodann bringt man das Ansatzstück nebst Hahn mit ihm in Verbindung und beginnt die Füllung desselben. Den Hahn stellt man so, dass die Bleiröhre nur mit der oberen Oeffnung desselben communicirt, neigt darauf das Gefässende der Bleiröhre etwas nach unten und verbindet sie durch eine Kautschukröhre mit der gefüllten Spritze. Nachdem man den Knopf der oberen Oeffnung entfernt hat, beginnt man allmählich die Bleiröhre mit der Lösung anzufüllen. Die Luft entweicht dabei durch diese Oeffnung, wobei man mit einigen Handstössen gegen die Röhre nachhelfen mag.

3. Fängt die Lösung ohne Beimischung von Luftblasen an, aus der Oeffnung zu fliessen, so schliesst man dieselbe mit dem Knöpfchen, verbindet durch angemessene Drehung des Hahnes die Bleiröhre mit dem Manometer und setzt die Füllung fort. Treibt man nun die Lösung in die Bleiröhre, so wird sie die in dem zum Manometer geneigten Schenkel des Hahns nachgebliebene Luft vorwärts- und das Quecksilber in die Höhe drängen; ist dies geschehen, so stellt man den Hahn so, dass das Manometer ausser Verbindung mit der Bleiröhre bleibt, und nimmt langsam das Knöpfchen aus der Oeffnung heraus; das wieder in Gleichgewicht kommende Quecksilber verdrängt nun die noch enthaltene Luft durch diese Oeffnung. Zur grösseren Vorsicht wiederholt man den letzteren Theil des Verfahrens (3) ein paar Mal, bis man alle Luft aus dem Apparate entfernt hat. Diese vollständige Luftentfernung ist deshalb von Bedeutung, weil die Berührung des Blutes mit Luftblasen in hohem Grade die Gerinnung begünstigt.

4. Nach Entfernung aller Luft schliesst man die Oeffnung von Neuem und hebt durch fortgesetzte Einspritzung der Alkalilösung das Quecksilber auf etwa 100 — 150 Mm. in die Höhe. Dies geschieht, um später bei der Verbindung des Manometers mit dem Blutgefässe die in die Bleiröhre eintretende Blutmenge auf ein Minimum zu reduciren. Ist das Quecksilber schon vor dieser Verbindung auf eine der Grösse des Blutdruckes nahekommende Höhe gebracht, so wird es später von dem Seitendruck des Gefässes auf derselben erhalten. Man darf bei Manometerversuchen diese Vorsichtsmaasregel niemals unterlassen, da man damit die Gefahr einer Gerinnung beträchtlich vermindert. Doch darf man andererseits das Quecksilber nicht zu hoch heben, da, wenn die erlangte Höhe die des Blutdrucks übertrifft, natürlich kohlensaures Natron in die Circulation gerathen muss; man erkennt dies gleich an den heftigen stürmischen Pulsationen des Herzens.

5. Ist das Manometer in der angezeigten Weise gefüllt, so schliesst man es durch eine Hahndrehung ab, verschliesst sodann auch die Bleiröhre, indem man

das Kautschukende der Spritze mit einer Klemme zumacht und die Spritze selbst aus demselben entfernt. Die Canüleneinführung in das Blutgefäss geschieht auf die schon im vorigen Capitel angegebene Weise und ist hier nur noch ihre Verbindungsweise mit der Bleiröhre zu beschreiben.

6. Ehe man diese Verbindung herstellt, muss man die Canüle auf das Sorgfältigste mit der Alkalilösung ohne Hinterlassung von Luftblasen füllen. Dies ist nicht immer ganz leicht und erfordert grosse Aufmerksamkeit und Genauigkeit in der Ausführung.

Man erreicht seinen Zweck am schnellsten, wenn man vorher in die Canüle bis in's Gefässlumen hinein einen starken, gut gewichsten Faden schiebt und dann mit der Spritze, an der man eine langgezogene feine Glasröhre befestigt, die Canüle füllt. Die Luftblasen entweichen dabei dem Faden entlang, sobald er mit ihnen in Berührung gebracht wird.

Ist diese Glasröhre so fein gezogen, dass ihre Spitze selbst bis in's Gefässlumen reicht, so kommt man viel leichter auch ohne Faden zum Ziel. Man unterstützt das Entweichen der Luftblasen, indem man die Oeffnung des mit der Canüle verbundenen Kautschukschlauchs mit den Fingern schliesst und dann durch mehrmaliges Zudrücken desselben die in der Canüle enthaltene Flüssigkeit bis in's Gefäss hineintreibt.

Zu empfehlen ist auch, diese Kautchukröhre vorher ganz zuzudrücken und erst dann diesen Druck aufzuheben, nachdem man die Röhrenöffnung mit den Fingern geschlossen hat — der negative Druck, der bei dem Bestreben der Röhrenwände ihre normale Lage einzunehmen entsteht, saugt dann die Luftblasen in die Höhe.

7. Ist nun die Canüle gefüllt, so wird die Kautschukröhre sammt Klemme von dem Bleiansatze entfernt; nachdem man sich überzeugt hat, dass dabei keine Luft in sie eingedrungen ist, verbindet man sie mit der Kautschukröhre der Canüle und befestigt die Verbindung durch einen doppelten Knoten.

Die Biegsamkeit des Bleiansatzes gestattet ihm zwar die dabei erforderlichen Krümmungen mit Leichtigkeit, — am besten ist es aber, man vermeidet zu häufiges Biegen dieser Röhre, da sie dabei leicht Spalten und Risse bekommt; es ist daher sehr zu empfehlen, an dieser Bleiröhre mittelst Kautschukröhren einen Ansatz von ein paar Glascanülen (wie sie auf Fig. 11 Taf. VI dargestellt sind) ein für alle Mal fest anzubringen. Fick ersetzt nach Moleschott's Vorgange die ganze Bleiröhre durch eine Kette von kurzen Glasröhrchen, die durch Kautschukschläuche mit einander zu einer biegsamen Röhre von beliebiger Länge verbunden werden. Hat man die angegebenen Regeln für die Füllung des Manometers und die Verbindung desselben mit dem Gefässe befolgt, — die Ausführung dieser Vorschriften erfordert viel weniger Zeit als das Lesen ihrer Beschreibung, — so ist man für eine gewisse Zeit gegen die Gefahr einer Blutgerinnung geschützt. Diese Zeit ist aber in den meisten Fällen für die Erreichung des Versuchszweckes bei Weitem nicht genügend, und muss man daher noch zu anderen Hilfsmitteln greifen.

Den ersten Platz unter diesen Mitteln nimmt die Wahl einer Lösung doppeltkohlensauren Natrons von genau bestimmter Concentration ein. Eine Lösung von 1,083 sp. Gewicht besitzt die merkwürdige Fähigkeit, die Gerinnung am längsten und sichersten zu verhindern; sonderbarer Weise genügt es, die Alkalilösung um

ein ganz Geringes mehr oder weniger zu concentriren, damit diese Fähigkeit schon bedeutend verringert wird.

Die Auffindung dieser passenden Concentration gehört L. Traube, und bin ich zufällig auf sie aufmerksam geworden, als ich mich einer im Du-Bois'schen Laboratorium von ihm zurückgelassenen Lösung bediente. Collegen, welchen ich von den auffälligen Eigenschaften dieser Traube'schen Lösung mittheilte, haben sie vollkommen bestätigt gefunden und bedienen sich ihrer mit grossem Erfolge seit Jahren.

Es ist rathsam, grössere Quantitäten einer etwas concentrirteren Lösung von doppeltkohlensaurem Natron vorräthig zu haben und vor jedem Versuche durch Hinzufügung destillirten Wassers die nöthige Lösung zu bereiten. Jedenfalls muss man vor dem Versuche die Concentration von Neuem prüfen.

Sind die Manometerröhren ganz luftleer gefüllt, ist durch vorherige Druckerhöhung der Eintritt von grösseren Blutmengen in das Ansatzstück verhindert worden, so wird mit dieser Lösung stundenlang ohne Gerinnung gearbeitet werden können.

Haben sich aber doch Blutgerinnsel gebildet, was durch eine Verminderung der Pulsschwankungen oder durch ihr gänzliches Ausbleiben angekündigt wird, so muss die Verbindung des Manometers mit dem Blutgefässe unterbrochen und eine sorgfältige Reinigung der Röhren und Canülen vorgenommen werden.

Man verfährt dabei auf folgende Weise:

1. Ueber das centrale Ende der Arterie wird von Neuem eine Schleife angelegt und bei abgeschlossenem Manometerrohr die Canüle vom Ansatzstücke getrennt.

2. Während man vor die Mündung des Ansatzstückes ein Schwämmchen hält, wird durch allmähliche Hahndrehung das Manometer mit der Bleiröhre in Verbindung gesetzt; das zu seiner früheren Ruhelage zurückkehrende Quecksilber treibt dabei das etwa im Beginne des Ansatzstückes befindliche geronnene Blut gegen das Schwämmchen heraus. Wird dann durch Einführung von Alkalilösung mittelst der Spritze das Quecksilber in die Höhe getrieben, so ist das Manometer für den Versuch von Neuem in Stand gesetzt.

3. Ist aber das Blut bis in die Bleiröhre gedrungen oder hat sich sogar Gerinnsel gebildet, so muss nach 2. der Hahn so gedreht werden, dass er nur mit dem nach unten gebogenen Ansatzstücke communicirt, das Knöpfchen herausgenommen und so der Inhalt der Röhre in ein unterzuschiebendes Gefäss entleert werden. Die Röhrenstücke werden dann auf die schon oben sub 2 und 3 angegebene Weise von Neuem gefüllt und das Quecksilber in die Höhe getrieben.

4. Während ein Assistent das Manometer zur Fortsetzung des Versuchs auf diese Weise vorbereitet, führt der Operirende selbst die schwierigere Reinigung der Canüle aus. Nur in Ausnahmefällen ist man gezwungen zu diesem Ende die Canüle aus dem Gefässe zu entfernen; in den meisten Fällen genügt es, durch ein zusammengerolltes Stückchen schwedischen Filtrirpapieres die Gerinnsel aus den Canülen und sogar aus dem Gefässendstücke herauszuholen.

Durch Ausspritzung der Canüle mit der Alkalilösung (wobei man an der Spritze wieder die feine ausgezogene Glasröhre des Ansatzstückes anbringt), wer-

den dann die Reste des geronnenen Blutes entfernt und die Canüle von Neuem gefüllt.

Man kann sich die ganze Procedur des Auseinandernehmens der mit der Arterie verbundenen Theilstücke ersparen, wenn man von vornherein zwischen dem Manometer und der zu diesem Zwecke besonders gestalteten Canüle das auf Fig. 5 Taf. V abgebildete Zwischenstück einschaltet.

Dieses besteht aus zwei Röhren (*a*) aus Blei und (*b*) aus Kautschuk, welche durch die gewöhnlichen Hülsen- und Schraubenvorrichtungen auf demselben Stativ befestigt werden. Beide Röhren münden in die neusilberne Röhre *f*, welche von der einen Seite mit dem durchbohrten Stöpsel *g* verschlossen, von der anderen (*i*) mit der Arteriencanüle *e* in Verbindung gebracht wird. Der Stöpsel *g* besitzt eine Seitenöffnung, welche gerade der Mündung der Kautschukröhre entspricht; man kann also durch eine Drehung dieses Stöpsels die Röhre *f* ausser Verbindung mit der Röhre *b* bringen. An der freien Mündung *i* dieser Röhre *f* sieht man, dass ihr Lumen durch eine Zwischenwand in zwei Abtheilungen zerlegt ist; die untere communicirt mit Röhre *a*, die obere mit *b*.

Der Zweck dieser von Ludwig getroffenen Einrichtung besteht nun darin, dass man die Röhre *b* mit der Manometerröhre, die andere *a* mit einem Behälter für kohlensaures Natron (am besten einer Kautschukblase) verbindet.

Ist die Canüle *e* einerseits mit dem Blutgefässe, andererseits mit der Röhre *f* in Verbindung gebracht, so kann man durch Oeffnung des Hahns *h* einen Strom der Natronlösung aus Röhre *a* durch die Canüle *f* in das Gefäss leiten und so etwaige Gerinnsel herausspritzen.

Diese Einrichtung ist äusserst zweckmässig und kann bei allen langdauernden Manometerversuchen empfohlen werden.

Hat man diese Vorrichtung nicht bei der Hand, so kann man sich im Nothfalle, wo der Gang des Versuchs einen Verlust von ein paar Minuten zum Auseinandernehmen der Stücke nicht gestattet, auf folgende Weise helfen. Als verbindendes Zwischenstück des Manometers mit der Canüle wird ein für alle Mal ein T-Glasrohr benutzt, dessen unteres Ende während des Versuches durch ein Kautschukrohr mit Klemme verschlossen ist.

Ist Gerinnung oberhalb dieses T-förmigen Zwischenstückes eingetreten, so schliesst man die Arterie sowie das eigentliche Manometerrohr ab und reinigt die Bleiröhre, indem man das Knöpfchen entfernt und die Spritze in die von der Klemme befreite Oeffnung der T-Röhre einführt.

Befindet sich das geronnene Blut unterhalb dieses Zwischenstückes, so wird es gewöhnlich schon bei der oberen Reinigung mit fort gerissen, wenn nicht, so schliesst man das Manometer ab, öffnet die Mündung der T-Röhre und überlässt es bei geöffnetem Blutgefäss dem Blutdrucke selbst die Gerinnung herauszutreiben; hiernach verbindet man diese Mündung mit der Alkalispritze und drängt das in die Canüle eingetretene Blut in's Gefäss zurück.

Sehr zweckmässig ist auch die von L. Hermann für solche Uebelstände vorgeschlagene Abhilfe. Nach Einführung einer T-förmigen Canüle in das Gefäss unterbindet er das peripherische Stück der Arterie, durchschneidet es und klemmt es dann mit einer kleinen Pincette ab. Es genügt dann, diese Klemme beim Eintreten von Gerinnung zeitweilig zu lösen, um das Gerinnsel herauszutreiben.

Bei häufigem Umgehen mit dem Manometer wird man auf die übrigen Modificationen dieser Handgriffe, welche dem störenden Einflusse der Gerinnung vorbeugen resp. ihn beseitigen, schon von selbst kommen. Bei Haferfütterung der Kaninchen und bei einer Brodfütterung der Hunde hat das Blut viel grössere Tendenz zur Gerinnung als bei anderen Ernährungsweisen — ein Fingerzeig, den man bei manometrischen Versuchen entsprechend verwerthen kann.

Eine zweite Störung, welche bei solchen Versuchen im höchsten Grade unangenehm wirkt, ist das Zerreissen oder eigentlich Durchschneiden des Arterienendes durch die Fadenschlinge oder Klemmpincette.

Wie zart man auch diese Schlinge, zu der nur dünne Seidenfäden zu gebrauchen sind, anlegt und löst, und selbst bei Anwendung der best construirten Klemmpincetten, ist man nie (am wenigsten bei Kaninchen) gegen diese Störung gesichert. Das Durchsickern einiger Blutstropfen aus den Vasa vasorum beim Abnehmen der Klemme oder Lösung der Schleife ist allein nicht von Bedeutung. Fliesst dagegen auch Blut aus dem Lumen des Gefässes selbst hervor, so legt man schnell viel tiefer als die blutende Stelle eine Schleife oder Klemme an, wobei etwas von dem benachbarten Gewebe mitgenommen wird, und schiebt die Canüle, so tief es nur geht, weiter in's Gefäss, und zwar so, dass der Faden, welchen man dann zur Befestigung derselben anlegt, tiefer als die gerissene Stelle zu liegen kommt.

Dieser Störung entgeht man viel häufiger, wenn man sich streng an die Regel hält: die Schleife oder Klemme nur dann zu lösen, sobald die Bleiröhre mit dem Manometer in freier, offener Communication steht. Ist das Manometer durch den Hahn abgeschlossen und kann dadurch das Blut aus dem Gefäss keinen Eintritt in die Bleiröhre finden, so reisst unter dem Drucke des andringenden Blutes oft die Gefässwand an der Stelle, wo der Faden die Wand auch nur zerquetscht hat.

Oft ist es rathsamer, bei einem solchen störenden Zwischenfall das gerissene Gefäss abzubinden und das Manometer mit der entsprechenden Arterie der anderen Seite zu verbinden; will man die grosse Circulationsstörung vermeiden, welche z. B. im Gehirn bei Unterbindung der beiden Carotiden entsteht, so wählt man irgend ein anderes leicht zugängliches Gefäss, wie die Art. cruralis u. s. w.

Zur Bestimmung des Blutdruckes in den Arterien wählt man am besten grosse oberflächlich gelegene Arterien, wie die Art. carotis und cruralis.

Wenn man zur ersteren häufiger greift, so rührt dies daher, dass man bei Versuchen dieser Art meistens doch die betreffende Halsgegend blosslegen muss und eine zweite Wunde erspart. Ist dies nicht der Fall, so hat die Art. cruralis den Vortheil der viel oberflächlicheren Lage.

Die Art. carotis findet man, wenn man einen 1—2 Centimeter langen Hautschnitt dem inneren Rand des Musculus sterno-mastoideus entlang macht und dann diesen Muskel etwas nach aussen zieht. Man sieht da die Art. carotis vom N. vagus an der äusseren und der V. jugularis interna an der inneren Seite begleitet; bei Kaninchen findet man ausserdem den N. depressor und N. sympathicus zwischen Vagus und Carotis etwas von diesem Gefäss zugedeckt. Zur Orientirung betrachte man die Tafeln XIV, XV und XVI, wo diese Gegenden beim Hunde und beim Kaninchen dargestellt sind.

Beim Hunde geht man mit dem Zeigefinger der linken Hand am inneren Rand des Sternomastoideus in die Tiefe, sucht dann in der Richtung zur Trachea die stark pulsirende Arterie heraus und zieht sie vom Vagus-Sympathicus-Stamm und V. jugularis int. begleitet hervor.

Die Arterie muss hervorgehoben und sorgfältig von den erwähnten Theilen isolirt werden, ehe man zur Einführung der Canüle schreitet.

Die Arteria cruralis fühlt man unter der Haut gleich unter dem Poupart'schen Bande durch. Ein vorsichtig geführter Hautschnitt längs der durchfühlbaren Arterie entblösst die sie bedeckende Fascie, welche man vorher spaltet, um so die Arterie (an der inneren Seite von der Ven. femoralis begleitet) freizulegen. Findet man die Strecke der Arterie zwischen dem Poupart'schen Bande und der Abgangsstelle der Art. profunda femoris zu kurz, so bindet man sie erst nach diesem Abgange ab und benutzt den tieferliegende Theil. Etwa im Wege liegenden kleine Rami perforantes werden einmal unterbunden und natürlich nicht durchschnitten.

Um die Vorschriften über die Anwendung des Quecksilbermanometers zu vervollständigen, bedarf es noch einiger Worte über die Füllungsweise und Reinhaltung der eigentlichen Manometerröhren.

Die Röhren des Quecksilbermanometers müssen absolut rein und trocken gehalten werden; besonders muss die Röhre, in welcher sich der Schwimmer befindet, vollkommen frei von Feuchtigkeit sein. Die Reinigung der Röhren geschieht mittelst schwacher Schwefelsäurelösung, und trocknet man sie nachher entweder dadurch, dass man sie mit Alkohol durchspritzt und mittelst eines Blasebalges lebhaften Luftstrom durchbläst, oder noch einfacher, indem man sie einige Zeit in einem Trockenraume von hoher Temperatur liegen lässt.

Das zum Füllen benutzte Quecksilber muss so rein als möglich und ganz trocken sein. Man reinigt es mit Salpetersäure und filtrirt es unter hohem Druck durch Sämischleder, wonach es mit gutem schwedischen Filtrirpapier getrocknet wird.

Die Füllung geschieht in der Weise, dass man das freie Ende des Manometers unter den trocknen Quecksilberspiegel herunterführt und durch das Gefässende, am besten mittelst einer gut schliessenden Spritze, das Quecksilber aspirirt.

Nach jedem Versuche muss die Bleiröhre nebst Ansätzen aus Glas und Kautschuk, sowie Feder und Canüle in's Wasser gelegt und sorgfältig gereinigt werden.

Während der Ausführung des Versuches überträgt man einem Assistenten die Fürsorge für das regelmässige Functioniren des Manometers und Schreibapparates.

§. V. Prüfung des Manometers.

Eine kurze Discussion der Zuverlässigkeit des Quecksilbermanometers bei den Anwendungen, die es in der Physiologie gefunden, und eine Prüfung, in wie fern die vielen Angriffe, welche es erlitten hat, berechtigt sind, wird hier wohl am Platze sein. Die Bewegungen, welche von dem auf dem Quecksilber flottirenden Schwimmer verzeichnet werden, stellen natürlich vorerst die Eigenschaften dar,

nach welchen die Schwingungen des durch gewisse beschleunigende Kräfte aus dem Gleichgewichte gebrachten Quecksilbers geschehen.

Um die erhaltenen Aufzeichnungen auf die Momente übertragen zu können, welche die Ausgangspunkte dieser beschleunigenden Kräfte sind, muss zuerst bewiesen werden, dass die Oscillationen des Quecksilbers sowohl ihrem zeitlichen als räumlichen Verlaufe nach genau mit denen übereinstimmen, welche es in Bewegung gesetzt haben. Eine solche volle Uebereinstimmung ist aber, wenn überhaupt, so doch nur unter gewissen genau zu bestimmenden Bedingungen möglich, auf die hier näher eingegangen werden soll.

Bei der allgemeinen Verbreitung, welche in der Physiologie die Anwendung der Registrirungen verschiedener im thierischen Körper vor sich gehenden Bewegungen durch ihre Uebertragung auf bewegliche Massen gefunden hat, ist es von hoher Wichtigkeit, festzustellen, welche Anforderungen man an solche Registrirapparate zu stellen habe.

Zur Grundlage unserer Betrachtung [1]) wollen wir den uns hier speciell interessirenden Fall wählen, wo die unter dem Einflusse der Herzcontractionen in den Gefässen vor sich gehenden Druckschwankungen auf das Quecksilber des Manometers übertragen werden.

Denken wir uns, dass irgend ein momentan wirkender Stoss das Quecksilber in dem von beiden Seiten offenen U-Rohr des Monometers in Bewegung gesetzt hat, und dass unter dem Einflusse der erhaltenen Geschwindigkeit das Quecksilber in dem einen Schenkel um 1 Centimeter in die Höhe gegangen, in dem anderen also um dieselbe Grösse gesunken ist. Setzen wir nun voraus, dass die Bewegung des Quecksilbers ganz ohne Reibung geschieht, so wird Folgendes eintreten: Durch den eben bezeichneten Process wird die Geschwindigkeit, die das Quecksilber empfangen, ganz aufgezehrt sein; es wird jedoch in der neuen Lage nicht im Gleichgewichte bleiben können, da auf der einen Fläche nur der atmosphärische Druck, auf der anderen dieser + dem Drucke einer 2 Centimeter hohen Quecksilbersäule wirkt. Unter dem Einflusse dieses Druckunterschiedes wird also das Quecksilber eine neue Oscillation in entgegengesetzter Richtung beginnen, um in sein früheres Gleichgewicht zurückzukehren. Wenn die Bewegungen des Quecksilbers nun ohne alle Reibungswiderstände geschehen würden, so könnte es nach den Gesetzen der Pendelbewegung, zu der früheren Gleichgewichtslage zurückgekehrt, nicht einfach in derselben bleiben, sondern müsste über diese hinausgehen, und zwar bis es im anderen Schenkel wieder auf einen Centimeter Höhe gelangte. Bis zu seiner Gleichgewichtslage würde das Quecksilber mit beschleunigter, von da an mit verzögerter Geschwindigkeit (wegen der hier entgegengesetzt wirkenden Schwerkraft) gehen, — seine Geschwindigkeit würde, sobald sich ein Druckunterschied von 2 Centimetern in seinem Stande zu Gunsten des

---

1) Wir folgen in dieser Betrachtung der von Mach benutzten, bei welcher die Schwankungen des Quecksilbers als pendelartige betrachtet werden. Diese Betrachtungsweise erleichtert zwar das Verständniss der dabei ins Spiel kommenden Kraftwirkungen — ist aber strenggenommen nicht ganz richtig; besonders beim Quecksilbermanometer lässt sich zeigen, dass die Excursionen aus der Gleichgewichtslage nicht immer nach beiden Seiten gleich gross sind. Wir kommen darauf später noch zurück.

anderen Schenkels der Röhre ausgebildet hätte, ganz verzehrt sein, und von diesem Momente ab würde in Folge derselben Ursachen wieder eine neue Oscillation von derselben Dauer und Grösse in entgegengesetzter Richtung stattfinden, und so fort.

Die Stärke des zuerst ertheilten Stosses und die Masse des Quecksilbers bedingen die Höhe dieser Oscillationen oder Eigenschwingungen, während die Dauer derselben hauptsächlich nur von der Masse des sich bewegenden Quecksilbers abhängt. Da aber auch in diesem einfachen Falle das Quecksilber bei seiner Bewegung gewisse Reibungswiderstände zu überwinden hat, so werden diese Oscillationen immer kleiner werden und schnell aufhören.

Bei der jetzt gewöhnlich gebrauchten Manometerröhre von 3—4 Mm. Querschnitt und mit einer Quecksilbersäule von 25—30 Centim. Höhe ist der Reibungswiderstand so gross, das die Bewegung des Quecksilbers nach 2—4 Schwingungen schon wieder aufhört, auch wenn das Manometer zu beiden Seiten des Quecksilbers nur Luft enthält.

Diese Eigenschwingungen des Quecksilbers müssen natürlich den Charakter der von den Manometern vollzogenen Blutdruckaufzeichnungen beeinflussen und können unter gewissen Umständen ihn sogar bedeutend alteriren. Vierordt war der Erste, welcher, gestützt auf Redtenbacher's mathematische Erläuterung solcher Eigenschwingungen, auf diesen Uebelstand in der Anwendung der Manometer aufmerksam gemacht hat; er ging sogar soweit, dass er sowohl die Identität im zeitlichen Verlaufe als auch die Uebereinstimmung der Grösse der Manometerschwankungen mit denen, welche im Blutdrucke wirklich vorkommen, in Abrede stellte.

Es lag aber sowohl in Redtenbacher's Calcül, als auch in der aus ihm gezogenen Schlussfolgerung Vierordt's offenbar eine Uebertreibung, welche, wie Fick ganz richtig gezeigt hat, daher rührte, dass bei diesem Calcül die Widerstände, welche sich den Bewegungen des Quecksilbers entgegensetzen, ganz ausser Acht gelassen wurden. Für solche Fälle aber, wo ein Widerstand gegeben ist, durch welchen die Oscillationen allmählich ganz aufgehoben werden können — und dies ist, wie wir gesehen haben, bei den Quecksilbermanometern der Fall — gilt folgender, von Seebeck bewiesener allgemeiner Satz: „Wenn ein Mobile in Bewegung gesetzt wird durch eine Kraft, deren Intensität regelmässigen periodischen Schwankungen unterliegt, so geräth das Mobile nach einigen unregelmässigen Bewegungen allmählich in einen Oscillationszustand, dessen zeitlicher Verlauf den periodischen Veränderungen der Kraft genau parallel geht und dessen Oscillationsdauer der Dauer der Periode der Kraftschwankung gleich ist." Je grösser der Widerstand, desto schneller stellt sich dieser regelmässige Oscillationszustand ein. Die Excursionsweiten des Mobile's wachsen im geraden Verhältnisse zu den Kraftschwankungen und im umgekehrten zu den Widerständen.

In unserem Falle ist das im Manometer schwankende Quecksilber das Mobile, die vom Herzen ausgehenden periodischen Blutdruckschwankungen — die periodisch wirkenden Kraftschwankungen; die Widerstände, welche das Quecksilber bei seinen Oscillationen zu überwinden hat, sind aber, wie wir gleich sehen werden, so bedeutend, dass die Uebereinstimmung zwischen den Manometer-

schwankungen und denen, welche wirklich im Gefässsystem vor sich gehen, sich sehr schnell herstellen kann.

Der Einwand Redtenbacher's gegen die corrigirende Bedeutung der Widerstände: „je mehr Ursachen vorhanden sind, welche auf die Oscillation des Quecksilbers Einfluss haben, desto mehr wird die Bewegung des Quecksilbers von den Veränderungen der Pulsspannungen abweichen" — ist kaum von Bedeutung, da ja, wenn ein Theil dieser Ursachen sich gegenseitig aufhebt, für die Bewegung des Quecksilbers nur eine geringe Anzahl übrig bleibt.

Dies giebt ja indirect Redtenbacher selbst zu; denn nachdem er vorher gesagt, dass durch die Berücksichtigung der Widerstände „das Instrument für seinen praktischen Zweck nicht um ein Haar besser" wird, gesteht er etwas später: „Dieser Fehler kann durch geeignete Constructionsverhältnisse und in's Besondere durch Anwendung geeigneter Massen gemässigt werden, aber ganz ist er nicht wegzubringen; wenn es sich darum handelt, Erscheinungen zu verfolgen und darzustellen, die sehr rasch auf einander folgen, so wird jedes derartige Instrument ganz unbrauchbar".

Um so rasche Bewegungen handelt es sich aber bei Beobachtung der Blutdruckschwankungen nur in äusserst seltenen Fällen.

Aus dem bis jetzt Gesagten folgt schon, dass die Oscillationen, in welche die Quecksilbermasse des Manometers durch die periodischen Stösse der Blutdruckschwankungen geräth, folgende bedingende Momente haben:

1. die Periodicität der Blutdruckschwankungen, d. h. ihre Intensitätsveränderungen in der Zeit,

2. die Kräfte, welche das Quecksilber in die Gleichgewichtslage zurückzuführen streben,

3. die Masse des Quecksilbers, welche die Dauer und zum grossen Theil auch die Höhe ihrer Oscillationen bedingt,

4. die Grösse der Widerstände, welche das Quecksilber bei seiner Bewegung zu überwinden hat.

In seiner theoretischen Prüfung des Wellenzeichners gelangt Mach zu dem Satz: „Die Curve des Wellenzeichners stimmt in der Form mit der Curve der Druckvariation dann am meisten überein, wenn die Widerstände gering sind und die Grösse p^2 bedeutend ist, d. h. wenn jene Masse des Wellenzeichners, welche durch die Druckvariation in Schwingungen versetzt wird, selbst durch bedeutende Kräfte nur eine geringe Verschiebung aus der Gleichgewichtslage erleidet." Daraus würde scheinbar folgen, dass, wenn man im Manometer die Widerstände vermindert und die Quecksilbermasse vermehrt, es die Druckschwankungen genauer angeben wird. Dieser Satzscheint also in dem grellsten Widerspruche zu stehen sowohl mit Allem hier aus Redtenbacher's und Seebeck's Sätzen Abgeleiteten, als auch mit der geläufigen Erfahrung Aller, welche mit Manometern gearbeitet haben.

Wenn Einige aus Mach's Worten (S. 167): „könnte man die Schwere in dem Maasse erhöhen, dass auch beim Kymographion die Lagenänderungen, somit die erlangten Geschwindigkeiten sehr klein ausfallen, so könnte man letztere vernachlässigen; die aufgezeichnete Curve würde die reine Druckvariation wiedergeben" — auch den Schluss gezogen haben, man brauche nur die schwingende Masse

mehren, um die Angaben der Wellenzeichner getreuer zu machen, so ist dies ein Missverständniss. Der von Mach abgeleitete Satz ist an sich vorwurfsfrei — nicht so die Deutung, die ihm Einige gegeben haben. Versteht man unter den Widerständen nur die durch die Bewegung des Quecksilbers entstehende Reibung der einzelnen Quecksilberschichten gegen einander, so ist sein Schluss ganz richtig: da, je kleiner die Geschwindigkeit der Masse, um so geringer die Widerstände, so versteht es sich, dass geringere Widerstände für die Exactheit des Manometers günstig sind. Es ist auch richtig, dass je bedeutender die Kräfte, welche die Masse im Gleichgewicht erhalten, um so genauer die Oscillationen des Quecksilbers den Druckschwankungen entsprechen werden — es wäre aber ganz verfehlt, wenn man diese Kräfte durch die Vergrösserung der bewegten Masse verstärken wollte, wie es mehrfach vorgeschlagen worden ist; denn bei solcher Verstärkung werden auch die Geschwindigkeiten der schwingenden Massen wachsen — die Ungenauigkeit des Instruments würde also vermehrt werden.

Wollte man aber diese Masse so gross nehmen, dass sie ihrerseits die von den Druckschwankungen ausgehenden Bewegungen durch ihre Trägheit bedeutend verringerte, also die Pulsationen abschwächte und denen der Barometer ähnlicher machte, wie es Mach vorschlägt, so würde man dadurch diese Schwankungen so verändern, dass sie schon ohnehin den normalen nicht mehr entsprechen würden.

Es lässt sich aber eine Verstärkung dieser Kräfte auf eine andere Weise erreichen, indem man nämlich die Widerstände vermehrt, welche sich den Gleichgewichtsveränderungen des Quecksilbers (abgesehen von den Reibungswiderständen der Quecksilbertheilchen) entgegenstellen. Diese Widerstände kann man durch geeignete Construction der Manometer beliebig vermehren; dieselben sind aber schon ohnedies bei der Verbindung des Quecksilbermanometers mit dem Herzen sehr bedeutend.

Der Widerspruch, der in den Ansichten von Fick und Mach über die Bedeutung der Widerstände in den Blutwellenzeichnern besteht, scheint mir kein principieller zu sein. Fick versteht unter den Widerständen alle die Momente, welche die Geschwindigkeitskräfte der bewegten Masse aufzehren, also auch die, welche Mach als die Gleichgewichtskräfte bezeichnet; während Mach nur von dem Widerstande spricht, welcher der Geschwindigkeit proportional ist.[1])

Mach hat theilweise zu dem entstandenen Missverständnisse Veranlassung gegeben, indem er die spannende Feder des Marey'schen Sphygmographen der Bedeutung nach der Schwere der Quecksilbermasse gleichstellt; dies ist aber nicht genau den Verhältnissen entsprechend. Die Spannung der Feder dient hier einerseits dazu, einen gewissen Druck auf die Arterie zu erzeugen, andererseits den Schwankungen des Hebels einen Widerstand entgegen zu setzen und so seine Eigenschwingungen zu vermindern.

1) Um Missverständnissen vorzubeugen, wäre es wünschenswerth, p^2 in der Formel von Mach: $\varphi(t) = p^2\psi + F\left(\frac{d\psi(t)}{dt} + \frac{d^2\psi(t)}{d\,t^2}\right)$ nicht durch „Gleichgewichtskräfte", sondern durch „Nebenwiderstände" zu bezeichnen. Man wird sich dann nicht verleiten lassen, diese Gleichgewichtskräfte durch Erhöhung der Masse verstärken zu wollen, sondern wird dies durch Verstärkung dieser Nebenwiderstände zu erreichen suchen. Denn je grösser p^2, um so eher wird natürlich $\varphi(t) = p^2\psi(t)$ sein; für ein sehr grosses p^2 wird dann die Curve des Manometers der Curve des Blutdruckes fast gleich sein.

Der Werth des Ausdruckes $\frac{E}{M}$ (E = dem Elasticität-Modul, M = Masse), welchen er hier für p^2 annimmt, ist also zuerst ein Nebenwiderstand für den Hebel, da die Grösse A in seiner Betrachtung nicht durch die Feder, sondern durch den Hebel repräsentirt wird. Die Rolle des Quecksilbers im Manometer spielt im Sphygmographen hauptsächlich der Hebel.

Durch diesen nicht ganz richtigen Vergleich erklärt es sich auch, dass Mach in seiner zweiten Abhandlung „Ueber die Gesetze des Mitschwingens" auf p. 47 in der Anmerkung ganz mit Unrecht schliesst, Marey habe nicht die richtigen Momente erkannt, welche sein Instrument zu einem guten und genauen Apparat machen.

Man wird die richtigen Principien, welche man bei der Benutzung solcher mitschwingenden Apparate zur Wiedergabe von periodischen Bewegungen befolgen muss, leicht finden, wenn man den Bau des vollkommensten solcher Apparate — der Membrana tympani — berücksichtigt.

Die Paukenmembran giebt nämlich Luftschwingungen, welche in den Grenzen von 7 — 8 Octaven liegen, mit mathematischer Genauigkeit wieder. In ihrem Baue sind also Bedingungen gegeben, welche alle ihre Eigenschwingungen aufheben; diese Bedingungen bestehen aber bekanntlich hauptsächlich in ihrer geringen Masse und in den grossen Widerständen, welche sie bei ihren Bewegungen in ihrer Befestigungs- und Verbindungsweise mit den Gehörknöchelchen überwinden muss. Diese Widerstände spielen hier gerade die Rolle von Kräften, welche die Gleichgewichtsveränderungen der Membrana tympani erschweren.

Betrachten wir nun näher, welchen Einfluss die die Oscillationen des Quecksilbers bestimmenden Momente auf die Exactheit der Werthe auszuüben im Stande sind, welche gewöhnlich bei der physiologischen Verwendung des Manometers gemessen werden.

Diese Werthe beziehen sich:

1) auf den im gegebenen Blutgefässe oder Herzen bestehenden Druck,
2) auf die Zahl der Druckschwankungen (also Herzschläge) in der Zeiteinheit,
3) auf die Intensität dieser Druckschwankungen,
4) auf ihre Dauer und
5) auf ihre Form, d. h. auf die Vertheilung der Intensitätsschwankungen auf diese Dauer: die Druck-Zu- resp. Abnahme geht langsam oder schnell vor sich, bleibt einige Zeit stationär oder nicht u. s. w.

Unter mittlerem Druck versteht man den Druck, welcher vor Beginn der Systole der Ventrikel im Gefässsystem vorhanden war, + dem Zuwachs, welchen dieser Druck durch Ablauf der ganzen Schwankung, welche die Herzcontraction erzeugt, gewonnen hat. Die Zuverlässigkeit des Manometers zur Messung des constanten Drucks, welcher vor jeder Systole und nach jeder Diastole in den Gefässen besteht, ist natürlich unzweifelhaft; anders ist es mit diesem Zuwachs.

Poiseuille hat diesen Zuwachs einfach dadurch berechnet, dass er die Höhe der Oscillation (also die Entfernung zwischen dem Maximal- und dem Minimalstand des Quecksilbers) gemessen und die Hälfte des erhaltenen Werths zu dem constanten Drucke addirt hat.

Diese Messungsweise ist zwar in den meisten Fällen zulässig, aber nicht in allen, denn sie setzt nothwendig voraus, dass die auf- und absteigenden Schwankungen des Blutdruckes sowohl zeitlich als räumlich vollkommen identisch sind, eine Voraussetzung, welche nicht immer eintrifft.

Man brauchte daher später die viel exactere Methode der Flächeninhaltsmessung (Planimetrie), von welcher im nächsten Paragraphen die Rede sein soll.

Auf welche Weise dieser Zuwachs auch gemessen werden mag, so wird doch die Zuverlässigkeit der erhaltenen Werthe immer durch die Entscheidung der Frage bedingt sein, inwiefern die Oscillationsweiten des Quecksilbers den wirklich im Blutdrucke vor sich gehenden Schwankungen entsprechen.

Die Entscheidung soll später bei Discussion der betreffenden Werthe geliefert werden; hier nur die Behauptung, welcher wohl kein Physiologe, der je Mitteldruckmessungen mittelst des Quecksilbermanometers gemacht, widersprechen wird, — dass für solche Messungen die Abweichungen in der Oscillationsweite des Quecksilbers von der wirklichen Blutdruckschwankung nur in den seltensten Ausnahmefällen von Einfluss auf die Zuverlässigkeit der erhaltenen Zahlen sein könnten.

In gewöhnlichen Fällen übersteigen nämlich diese Oscillationen nicht den Werth von 1—3 Mm.; die Fehler, welche also durch solche Abweichungen entstehen, sind kaum grösser als die, welche auch bei den exactesten Methoden als Versuchsfehler nicht zu vermeiden sind. Arithmetische Mittel aus mehreren ähnlichen Messungen geben also ganz brauchbare Werthe.[1])

Wir haben oben Einrichtungen erwähnt, welche Marey und Setschenow getroffen haben, um mittelst der Manometer den Mitteldruck direct ablesen zu können. Diese bestanden darin, dass in der Quecksilberröhre Verengungen angebracht wurden, welche die Oscillationen des Quecksilbers auf ein Minimum reduciren.

Vergleichende Versuche, welche Poiseuille mittelst des Marey'schen Manomètre compensateur angestellt hat, zeigen aber auf das Evidenteste, dass diese Verengungen, auch wenn sie einen Millimeter im inneren Diameter der Röhre kaum überschreiten, so grosse Reibungswiderstände erzeugen, dass die Werthe, welche man erhält, bedeutend geringer als die wirklichen, im Gefässstystem bestehenden sind; so z. B. waren die Unterschiede, welche er bei drei verschieden grossen Verengungen, die an demselben Manometer angebracht waren, im Blutdrucke der Art. cruralis erhielt, bis 25 Mm. gross.

Auch bei den grössten Abweichungen der Quecksilberoscillationen von den wirklichen Druckschwankungen, welchen man bei den gewöhnlichen Manometern begegnen könnte, wird man nie so bedeutende Unterschiede antreffen.[2])

---

1) Wären die Quecksilberoscillationen im Manometer wirklich pendelartig, so könnte man die Werthe für den Mitteldruck auch viel genauer erhalten. Da dies aber nicht der Fall ist und das Quecksilber über die wirklich im Blutdrucke vorkommenden Schwankungen hinaus nicht nach beiden Richtungen hin gleich grosse Eigenschwingungen macht, so giebt keine Art der Ausmessung von Blutdruckcurven, auch nicht die mit dem Planimeter ausgeführte, absolut genaue Zahlen. Die daraus entstehenden Fehler können aber als verschwindend kleine vernachlässigt werden.

2) Man kann auch im gewöhnlichen Manometer die Oscillationen bedeutend verringern, wenn man den in der Bleiröhre angebrachten Hahn mehr oder weniger verengert.

Das nach dem Muster des Magendie'schen Cardiometers gebaute Manomètre compensateur von Marey ist überhaupt wegen der grossen Quecksilbermasse, welche dabei in Anwendung kommt, für manometrische Versuche unbrauchbar. Der Misscredit, in welchen das Quecksilbermanometer während einiger Zeit in Frankreich gerathen war, liegt theilweise an der allgemeinen Verbreitung solcher Cardiometer, bei denen noch dazu die Oscillationshöhen des Quecksilbers direct mit dem Auge abgelesen werden müssen.

Was nun die Zahl der Druckschwankungen in der Zeiteinheit betrifft, so wird dieselbe von dem Quecksilbermanometer immer genau angegeben, vorausgesetzt, dass sie überhaupt an seinen Aufzeichnungen genau abzulesen sind.

Der theoretische Beweis dafür liegt in dem oben angeführten Seebeck'schen Satz. Danach ist die Anwesenheit von Widerständen, welche eben ausreichen, um die Oscillationen des Quecksilbers in Ruhe zu bringen, schon genügend, um dieselben den regelmässig wiederkehrenden Schwankungen des Blutdruckes ganz isochron zu machen.

Solche Widerstände sind aber immer im Manometer vorhanden, und wie oben erwähnt, sind sie in unseren Manometern sogar bei freier Communication der Röhren mit der Luft schon genügend, um die Oscillationen nach 2—4 Schwingungen aufhören zu machen. Bei Gelegenheit der Prüfung des Manometers für das Froschherz überzeugte ich mich, dass unter ähnlichen Bedingungen die Oscillationen dieser Manometer schon nach zwei vollbrachten Schwingungen zur Ruhe kommen.

Die Widerstände, welche diesen Oscillationen sogar bei der mehr unmittelbaren Verbindung des Manometers mit dem Herzen begegnen, sind aber in der That schon sehr bedeutend. Ohne eine solche Verbindung sind sie hauptsächlich durch die Reibung der Quecksilbertheilchen aneinander und gegen die Röhrenwände gegeben. Bei der relativ geringen Geschwindigkeit aber, mit welcher das Quecksilber sich bewegt, sind diese Widerstände auch nur sehr gering, da sie ja von dieser Geschwindigkeit abhängen.

Mit der Verengung des Röhrenquerschnittes und Anbringung der früher beschriebenen Verbindung der beiden Manometerschenkel durch das eiserne Gefäss nehmen diese Widerstände schon nicht unwesentlich zu.

Die grösste Zunahme erfahren sie aber bei der Verbindung der Manometer mit den Blutgefässen.

Bei jeder aufsteigenden Oscillation müsste das Quecksilber, wenn es der aufsteigenden Schwankung des Blutdruckes nicht genau nachfolgen, sondern derselben, so zu sagen, voraneilen wollte, die Widerstände überwinden, welche dem Zusammenfallen der Gefässwände und der bei der Systole ganz starren Wandungen des Ventrikels entgegenstehen. Dass diese Widerstände trotz des Bestrebens der gedehnten Blutgefässe nach Verengerung nicht unbedeutend sind, geht daraus hervor, dass auch bei den schnellsten und grössten Excursionen des Herzens keine Einknickungen in dem oberen Theil der Curve zu beobachten sind.

Würde das Maximum der Druckschwankung später als das der Oscillation eintreten, so müsste man eine Art Dicrotismus an dem oberen Theil des absteigenden Curvenschenkels erhalten; solchen Dicrotismus beobachtet man aber bei manometrischen Versuchen nie. In der Untersuchung über den Einfluss der

Erwärmung auf die Centren der Herznerven, welche ich mit Tarchanoff ausgeführt habe, beobachteten wir stürmische Herzschläge mit Druckschwankungen bis 120 Mm., ohne je eine Knickung im oberen Theile der Curve zu erhalten! (Der Widerstand, welchen die Trägheit des Quecksilbers in der Steifheit der contrahirten Herzwand zu überwinden hat, wenn das Manometer direct mit dem Froschherzen verbunden wird, ist für diesen Zweck auch ausreichend.)

Aber auch die absteigende Oscillation des Quecksilbers, sollte sie langsamer oder schneller erfolgen als die absteigende Schwankung des Blutdrucks, wird von Seiten der Herz- und Gefässwände bedeutende Widerstände zu erleiden haben, welche sie vollkommen aufheben. Die Widerstände, welche die Verbindung mit den Blutgefässen der Bewegung des Quecksilbers entgegenstellt, sind so bedeutend, dass auch in den Fällen, wo die Druckschwankungen ihrer Dauer nach bedeutend von denen der Oscillation des gegebenen Manometers (s. gleich unten) abweichen, Eigenschwingungen nur ganz ausnahmsweise wirklich vorkommen, und auch dann nur, wenn die Oscillation abgelaufen ist und die erschlafften Herzwände während der Diastolenpause der Eigenschwingung nur geringe Hindernisse entgegenzustellen vermögen.

Man beobachtet daher nur Eigenschwingungen bei Versuchen an Säugethieren, hauptsächlich wenn bei Reizung der Vagi die Herzschläge bedeutend verstärkt und durch Zunahme der Diastolenpause sehr verlangsamt sind.

Sogar das todte Froschherz bietet dem Sinken des Quecksilbers noch bedeutenden Widerstand. Speciell angestellte Versuche haben gezeigt, dass sogar bei 60—70 Mm. hohen Schwankungen des Quecksilbers die Zeit, welcher die Ausgleichung der Niveaudifferenz im Manometer bedurfte, 4 bis 8 Mal länger war, wenn es mit dem Herzen verbunden war als ohne eine solche Verbindung.

Trotzdem aber die Widerstände bei der Verbindung des Manometers mit dem Blutgefässe so weit zunehmen, dass der oben angeführte Satz seine volle Gültigkeit erhält, die Oscillationen des Quecksilbers also den Druckschwankungen isochron sein müssen, giebt es doch Fälle, wo das Quecksilbermanometer zur Zählung der Herzschläge unbrauchbar wird. Werden die Herzschläge zu schwach, als dass sie im Stande wären, die Quecksilbermasse zu irgend einer merklichen Höhe zu heben, oder zu häufig, als dass sie die Trägheit des Quecksilbers überwinden könnten, oder endlich, wird die Periodicität des Herzschlages zu unregelmässig — dann sind auch die Angaben des Quecksilbermanometers nicht mehr zu gebrauchen, und muss man bei Zählung der Herzschläge zu den früher angegebenen anderen Methoden greifen.

Nach allem Auseinandergesetzten ist die Ursache der Unbrauchbarkeit des Manometers für solche Fälle ohne Weiteres klar. Ebenso ist es verständlich, dass (ausgenommen bei Unregelmässigkeit der Herzschläge) die Brauchbarkeit des Manometers bedeutend erweitert werden kann, wenn wie in dem oben empfohlenen Manometer der Fall, die Röhren nur sehr eng sind, da dadurch die Masse des bei jeder Herzbewegung zu hebenden Quecksilbers verringert wird.

Wenden wir uns nun zur Verwerthung der Manometermessungen für das Ablesen der Intensität, Dauer und Form der Druckschwankungen.

Was zuerst die Dauer betrifft, so folgt aus der oben bewiesenen Verwerthbarkeit dieser Messungen hinsichtlich der Zahl der Herzschläge auch, dass das Manometer genau die ganze Dauer jeder Blutdruckschwankung anzugeben vermag.

Dies ist die einfache Folge des mehrfach erwähnten Satzes von der Isochronität der Quecksilberoscillationen bei regelmässigen periodischen Schwankungen.

Anders ist es aber mit der Intensität der Schwankung und mit der Vertheilungsweise derselben auf die Zeit, was eben die Form der Schwankung ausmacht. Hier kann man sich auf die Aussagen eines Manometers nur verlassen, wenn man vorher genau seine Eigenschaften bestimmt hat.

Die Erfahrung hat nämlich gezeigt, dass die Intensität der Quecksilberschwankungen in jedem Manometer nur bis zu einer gewissen Anzahl derselben in der Zeiteinheit genau der Intensität der sie erzeugenden Kraftschwankungen entspricht. Dagegen scheint nach den bisherigen Ermittelungen die Höhe dieser Schwankungen nur von geringem Einflusse auf den Charakter der Eigenschwingungen des Manometers zu sein.

Die Bestimmung der Eigenschaften des Manometers sowie die Möglichkeit, durch solche Bestimmung die Genauigkeitsgrenzen desselben festzustellen, ruht hauptsächlich auf folgender Ueberlegung:

Die Möglichkeit des Erscheinens einer Eigenschwingung hängt nach den obigen Auseinandersetzungen von vier Momenten ab, die man willkürlich zu variiren vermag, um bei jedem Manometer empirisch zu bestimmen, bei welcher Häufigkeit der Kraftschwankungen (bei gegebenen Quecksilbermassen und Widerständen) eine Eigenschwingung nicht mehr stattfinden kann.

Diese Häufigkeit lässt sich am besten dadurch finden, dass man genau die Zeitdauer bestimmt, welche eben nothwendig ist, damit das Quecksilber in die Gleichgewichtslage ohne jede Eigenschwingung zurückkehren kann. Diese Zeitdauer muss so genau bestimmt werden, dass ihre Verringerung um einige Hundertheile einer Secunde schon genügt, um eine Eigenschwingung zu erzeugen.

Bei der Prüfung [1]) des Froschherzenmanometers wurde diese Dauer in der Weise festgestellt, dass man die aus der Gleichgewichtslage herausgebrachte Quecksilbersäule mit verschiedenen Geschwindigkeiten in die Ruhelage zurückfallen liess und dabei bestimmte, bei welcher Geschwindigkeit die Eigenschwingung eben auszubleiben beginnt. Die Geschwindigkeit wurde variirt durch allmähliche Verengerungen des Schenkels, welcher der Arterie zugekehrt ist.

Das nähere Verfahren besteht in Folgendem:

Nachdem das Manometer mit der gehörig bestimmten Quecksilbermenge gefüllt worden, verbindet man es mit einer T-förmigen Glasröhre, die in einen engen Kautschukschlauch mündet. Um diesen letzteren wird eine Klemme gelegt, mittelst welcher sein Lumen beliebig verengt werden kann; in seine Mündung wird ein Glasröhrchen gesteckt, das man in Wasser taucht.

Durch das freie Ende der T-Röhre wird nun das Quecksilber im offenen Schenkel des Manometers in die Höhe getrieben, während man die Mündung der im Wasser steckenden Röhre mit dem Finger genau verschliesst. Die Klemme wird nur so weit offen gelassen, dass lediglich ein capillarer Spalt in dem Kautschuk-

---

1) Die hier beschriebenen Methoden zur Prüfung der Manometer rühren von Ludwig her und sind in meiner Untersuchung über den Einfluss der Temperaturänderungen auf das Froschherz beschrieben worden.

schlauche frei bleibt. Entfernt man nun ganz plötzlich den Finger, so gleicht sich der Niveauunterschied im Manometer aus, und zwar mit oder ohne Eigenschwingung, je nach der Einstellung der Klemme. Das Eintreten der Eigenschwingung ist dabei an der vom Schwimmer des Manometers gezeichneten Curve sichtbar; an dieser wird auch die Dauer des Herabfallens gemessen, wenn die Umdrehungszeit des rotirenden Cylinders genau bekannt ist.

Wiederholt man nun mehrmals denselben Versuch bei fortwährender Verminderung des capillaren Spalts, so ermittelt man genau, wie gering die Oscillationsgeschwindigkeit, oder, was dasselbe ist, wie gross die Dauer der Ausgleichung des Niveauzustandes sein muss, damit eben keine Eigenschwingung eintrete.

Obgleich die Höhe, von welcher das Quecksilber herabfällt, dabei von nur geringem Einflusse ist, so wählt man doch zu grösserer Sicherheit der Ermittelung die grösste Höhe, bis zu welcher erfahrungsgemäss die Blutdruckschwankungen überhaupt kommen.

Nehmen wir nun an, dieser Versuch ergiebt, dass eine Dauer von 0,25 Secunden schon genügt, damit das Quecksilber in seine Gleichgewichtslage ohne Eigenschwingung zurückkomme, so folgt daraus, dass bei einer Periodicität der Schwankungen, welche unter 120 in der Minute liegt, die Oscillation des Quecksilbers nur durch die wirklichen Schwankungen der Triebkräfte, welche es aus der Gleichgewichtslage herausbringen, bedingt sind. Es wird dabei vorausgesetzt, dass das Aufsteigen des Quecksilbers dieselbe Zeit wie das Absteigen erfordert, beide zusammen also 0,5 Secunde verbrauchen.

Sämmtliche Angaben dieses Manometers werden also, sowohl was die Intensität der Druckschwankungen als auch was die Vertheilung der Intensitätsveränderungen auf die verschiedenen Momente der vollen Schwankungsperiode anbetrifft, bei einer Schlagzahl, die unter 120 in der Minute beträgt, mit vollem Vertrauen angenommen werden können. Darüber hinaus werden die Oscillationen des Quecksilbers etwas grösser, als die wirklichen Blutdruckschwankungen; ihre Form entspricht nicht mehr der Form der Herzcontractionen. [1])

Durch geeignete Construction des Manometers, nämlich durch bedeutende Verringerung der schwingenden Masse, bei Verstärkung der Momente, welche diese Masse im Gleichgewichte zu erhalten suchen, der Widerstände, kann man die Dauer seiner Eigenschwingungen noch bedeutender verkürzen, seine Brauchbarkeit also auch auf eine viel grössere Frequenz der Herzstösse ausdehnen. Jenseits dieser Frequenz sind die Angaben der Manometer, was die Intensität der Herzbewegungen, also auch deren Form betrifft, nicht mehr zu verwerthen.

Wenn man berücksichtigt, dass solche Frequenzen sehr selten vorkommen, dass die Intensitätsschwankungen meistens so gering sind, dass die Fehler hier gar oft vernachlässigt werden können und dass man endlich überhaupt nur selten das Manometer zum Studium der Form der Herzbewegungen verwendet — so wird man sich nach allem Gesagten nicht der Ueberzeugung erwehren können, dass das

1) Ueber den Einfluss der Schnelligkeit, mit welcher die Schwankungen im Blutdruck vor sich gehen, auf die Genauigkeit der Manometerangaben siehe Asp's Abhandlung über die Gefässnerven.

Quecksilbermanometer in der Hand eines umsichtigen Experimentators ein ganz exactes Instrument ist, das beim Studium der meisten Circulationsvorgänge durch kein anderes von den bis jetzt vorgeschlagenen Instrumenten zu ersetzen ist.

Man vergleiche nur die reiche Fülle der grossartigen Thatsachen, welche in der Physiologie der Circulation durch das Quecksilbermanometer an's Licht gefördert sind, mit der Winzigkeit der bis jetzt durch andere für ähnliche Zwecke vorgeschlagene Vorrichtungen auch der ingeniösesten Construction für die Physiologie gewonnenen, und man wird leicht über die zu treffende Wahl der Vorrichtungen bei Versuchen über die Circulation in's Klare kommen.

Für die selteneren Fälle, wo bei Blutdruckmessungen das Quecksilbermanometer im Stiche lässt, also wo genaue Angaben über die Form und Intensitätsschwankungen der einzelnen Herzschläge nöthig sind, eignet sich sehr das von Fick construirte Federmanometer. Dieses Manometer ist auf Fig. 1 Taf. XVII mit den zweckmässigsten Verbindungsstücken vollständig dargestellt.

Es besteht aus dem bekannten Bourdon'schen Manometer, an dem eine passende Schreibvorrichtung angebracht worden ist.

QQ stellt die C-förmig gebogene und bandartig gestaltete hohle Feder aus Neusilberblech dar. Eine solche kreisförmige Feder muss sich etwas gerade strecken, wenn in ihrem Innern der Druck gesteigert wird; da in der vorliegenden Einrichtung das untere Ende der Feder fest ist, so muss bei solchen Erhöhungen des inneren Druckes das freie obere Ende bogenförmige Excursionen beschreiben, welche den Schwankungen dieses Druckes entsprechen werden.

Um diese Excursionen zu vergrössern, ihnen auch eine geradlinige Richtung zu ertheilen ist an diesem freien Ende ein sehr leichtes, aus Schilf bestehendes Hebelwerk *RR* mit einer Zeichenspitze angebracht. Wegen der sehr kleinen Masse dieses Hebelwerkes ist an seinem unteren Ende eine leichte Papierscheibe befestigt, die bei Bewegungen des Hebelwerkes gezwungen ist, in Oel zu flottiren. Der Zeichenstift notirt die Excursionen des oberen Federendes in vergrössertem Maasstabe auf einem mit Russ bestrichenen Papier des rotirenden Cylinders.

Um dieses Manometer leicht handhaben zu können, habe ich die auf der Zeichnung sichtbare Befestigungsweise an dem Brett, welches die Trommel trägt, angegeben. *FF* ist ein runder Messingstab, der, in den Hülsen *GG* verschiebbar, sich mit Schrauben leicht fixiren lässt. Mit dieser Stange ist ein dreieckiger Stab *H* verbunden, welcher, mit dem einen Ende in der ebenso gestalteten Hülse *K* der Stange verschiebbar, an seinem anderen Ende mit der Stange *I* verbunden ist, welche für den Träger des Federmanometers bestimmt ist; diese Stange ist um ihre verticale Achse in dem sie mit dem Stabe *H* verbindenden Gelenke drehbar. Den unteren Theil dieser Stange zu befestigen und gleichzeitig ihn in genau verticaler Richtung einzustellen, dazu dient der Querstab *MM*, welcher mittelst besonders gestalteter, doppelt durchbohrter und mit Schrauben versehener Hülsen *NN* ihn mit der Stange *F* in der Weise verbindet, dass die beiden Stangen genau parallel verlaufen.

Wie leicht einzusehen, lässt sich mittelst dieser Befestigungsweise dem Manometer jede beliebige Stellung zur Trommel geben; da der Träger des Manometers *OO* auf der Stange *I* in verticaler Richtung verschiebbar ist, so lässt sich

durch seine Verstellung auch die ganze Trommel ausnutzen. Versieht man die Stange mit einer Scala, so kennt man auch die Grösse der Verschiebung, ist also im Stande, die Nulllinie des Manometerstandes (s. u.) für jede Curve auf dem Papier zu bestimmen.

Die Bleiröhre *T* mit Hahn *U* dient zur Verbindung des Manometers mit dem Gefässe, die auf die bekannte Weise hergestellt wird. Die platte viereckige Büchse *W* aus vergoldetem Messingblech dient als Oelbehälter und ist mit dem Träger des Manometers *OO* mittelst des Armes *X* unbeweglich verbunden, um allen seinen Bewegungen folgen zu können.

Die Hohlfeder wird mit Alkohol gefüllt, die Bleiröhre mit einer Lösung von kohlensaurem Natron.

Vergleichende Versuche haben nun Fick überzeugt, dass man mit diesem Manometer genau die Druckschwankungen registriren kann, und zwar ganz unabhängig von ihrem Tempo und von der Geschwindigkeit, mit welcher sie ablaufen.

Diese Genauigkeit des Apparates ist auch leicht verständlich, da er in hohem Grade den Anforderungen genügt, welche oben gestellt worden sind. Die elastischen Kräfte der Feder, welche das System im Gleichgewicht erhalten, sind verhältnissmässig sehr gross; dagegen ist die schwingende Masse, wenn man die Feder und den Hebel als solche betrachtet, nicht gar so klein im Vergleich zu der des Quecksilbermanometers, wie man behauptet; wenn man unsere etzt im Gebrauche stehenden Manometer berücksichtigt, so ist die Masse des Queksilbers sogar geringer. Die Ursache der grösseren Genauigkeit liegt hier in der Spannung der Feder, welche nach dieser Richtung hin theilweise die Rolle der Feder im Marey'schen Sphygmographen spielt.

Die Geschwindigkeiten, welche der Apparat durch die von den Druckschwankungen ausgehenden Stösse erhält, sind ziemlich gering. Man kann in dieser letzteren Hinsicht den Apparat noch genauer machen, wenn man eine Schreibfeder (etwa wie die oben für den Schwimmer des Quecksilbermanometers angegebene) direct an dem oberen Federende anbringt. Man vermeidet hierbei auch die grösseren Geschwindigkeiten, welche das Hebelwerk sonst erlangt. Eine solche Einrichtung hat noch den Vorzug, dass sie die Aufzeichnung der Curven auf unberustem Papier gestattet, aber auch den Nachtheil, dass die Pulsationen in kreisförmigen Bogen gezeichnet werden.

Will man auch genau verwerthbare Grössen mit diesem Federmanometer erhalten, so muss er vorher graduirt werden, d. h. es muss mittelst einer Vorrichtung, welche genau messbare Druckschwankungen ausführt, bestimmt werden, welche Excursionen der Feder Kraftanwendungen von gewisser Intensität entsprechen.

Durch die auf der Taf. XVII. Fig. 1 dargestellte Befestigungsweise hat der Apparat an leichter Handhabung beträchtlich gewonnen. Einer seiner Nachtheile ist die schwierige, aber oft erforderliche Reinigung und Neufüllung der Feder mit Alkohol. Diese Füllung geschieht theils dadurch, dass man die Feder zuerst erwärmt und dann sich abkühlen lässt, während ihr offenes Ende unter Alkohol getaucht wird, theils dadurch, dass man in die etwas auseinandergebogene Feder Alkohol einspritzt und dann durch Zusammenbiegen und Anstossen die Luft aus ihr allmählich entweichen lässt.

Schummer hat bei seiner vergleichenden Prüfung des Fick'schen Manometers mit dem Quecksilbermanometer für die Exactheit des ersteren insoferne ungünstige Resultate erhalten, dass er fand, die Elasticität der Feder ändere mit der Zeit sich sehr bedeutend. Auch nimmt mit der Zunahme der Spannung die Dehnbarkeit der Feder zu. Dies hat keine besonderen Nachtheile, weil man ja das Manometer nur von Zeit zu Zeit auf's Neue zu graduiren braucht.

§ VI. Verwerthung der erhaltenen Curven. Planimetrie.

Aus den mit einem der beschriebenen Manometer gezeichneten Blutdruckcurven lassen sich folgende numerische Werthe gewinnen: 1) Der Maximaldruck, d. h. der höchste Stand des Blutdrucks beim Maximum der Herzsystole, 2) der Minimaldruck oder der tiefste Stand bei dem Maximum der Diastole und 3) der Mitteldruck, d. h. der Minimaldruck + dem Zuwachs, welcher der Blutdruck durch eine Herzcontraction erlitten hat.

Um nun diese Werthe auszumessen, ist es selbstverständlich erforderlich, den Stand des Quecksilbers im Manometer zu kennen, ehe es mit dem Blutgefäss in Verbindung gebracht wird. Diesen Stand lässt man auf dem Papier des rotirenden Cylinders durch die Feder des Schwimmers aufzeichnen, sobald das Manometer nebst den Ansatzröhren gefüllt worden und seine beiden Enden frei mit der Luft communiciren.

Hat man nun für jede Curve diese sogenannte Nulllinie, so braucht man zu derselben nur eine Verticale zu ziehen von den betreffenden Punkten der Wellenlinie aus, um den Druck, der im entsprechenden Momente im Blutgefässe herrscht, zu erhalten. Da das Manometer doppelschenklig ist, so muss die gefundene Höhe mit 2 multiplicirt werden. Der ganze Druck ist nämlich gleich der Differenz in dem Stande der Quecksilbersäulen der beiden Schenkel. Die erhaltene Ordinate giebt aber die Höhe in dem einen Schenkel; und da das Quecksilber in dem einen Schenkel um dieselbe Höhe fällt, um welche es in dem zweiten gehoben wird, ist die Ordinate gleich der halben Differenz. Die so gewonnene Grösse giebt nun den in dem Gefässe herrschenden Blutdruck in einer Quecksilbersäule von bestimmter Höhe ausgedrückt an.

Will man diesen Druck in einer Blutsäule von entsprechendem Werthe ausgedrückt erhalten, so braucht man nur die erlangte Höhe mit 13,5 zu multipliciren, da das Blut ungefähr um so viel Mal leichter ist als das Quecksilber.

Auf diese Weise erhält man leicht die Werthe für den Maximal- und den Minimaldruck. Schwieriger ist es, den Mitteldruck genau zu finden, da dazu die Berechnung des Zuwachses, d. h. aller Differenzen zwischen dem Maximal- und Minimaldrucke, welche während der ganzen Dauer der Herzcontractionen bestanden, erforderlich ist. Wenn die erhaltenen Wellen ganz regelmässig sind, d. h. das Auf- und das Absteigen der Curve ganz gleichmässig geschieht, so genügt[1]) es, die grösste Höhe der Schwankung durch 2 zu dividiren und zu dem Minimaldrucke hinzuzufügen, um den Mitteldruck zu erhalten; wie oben angegeben, sind Poiseuille und Andere auf diese Weise verfahren.

1) Natürlich bei der, im vorigen § erwähnten Voraussetzung, dass die Schwankungen des Manometers pendelartig ablaufen.

So einfach ist aber die vom Blutdrucke gewöhnlich gezeichnete Curve nicht. Nicht nur sind die Geschwindigkeiten der Systolen nicht immer denen der Diastolen gleich, sondern die anderen Schwankungen, welche im Blutdrucke vorkommen, wie die durch Respirationsbewegungen und rhythmische Erregungen des Gefässnervencentrums erzeugten, gestatten auch keine so einfache Messung, besonders wo es sich um genaue Ermittelung geringerer Differenzen handelt.

Volkmann hat daher eine sehr sinnreiche Methode erfunden, diese Messungen viel genauer zu machen. Er benutzte zu diesem Zwecke für seine Curven ein Papier, dessen Stärke möglichst gleichmässig war. Er schnitt dann die erhaltene Curve nebst der zu ihr gehörigen Nulllinie mit einer feinen Scheere aus und bestimmte das Gewicht dies Papierstückes. Durch Vergleichung dieses Gewichts mit dem eines ähnlichen Papierstückes von derselben Länge und bestimmter Breite konnte er genau den Werth des Mitteldruckes erhalten, denn offenbar verhielten sich die Flächeninhalte dieser Papierstücke wie ihre Gewichte.

Hat man kein präciseres Instrument zur Hand, so kann man mit diesem Volkmann'schen Verfahren noch sehr brauchbare Resultate erhalten, wenn man nur für grosse Gleichmässigkeit des Papiers sorgt. Jedenfalls ist dies Verfahren bedeutend einem anderen vorzuziehen, welches in Uebertragung der Curve auf in Millimeter-Quadrate getheiltes Papier und Abzählung dieser Quadrate besteht.

Viel genauer und bequemer lässt sich die Ausmessung des Flächeninhalts mit Hilfe des Planimeters bewerkstelligen.

Das beste und am leichtesten zu handhabende Planimeter ist das von Weltli, dem ersten Erfinder dieser Instrumente, construirte.

Das Princip beruht darauf, dass die Curve auf mechanischem Wege integrirt wird. Am Weltli'schen Planimeter wird der Flächeninhalt einfach abgelesen an der Stellung eines Zeigers, welcher sich auf einem Zifferblatte bewegt, nachdem man mit dem Stift des Apparates die ganze Curve umkreist hat. Hat man eine Curve vor sich, so lässt man von zwei beliebigen Punkten derselben, welche demselben Zustande der Herzcontraction entsprechen, zwei Verticale auf die Nulllinie fallen und beginnt mit dem Stift des Planimeters von irgend einem beliebigen Punkte des auf diese Weise erhaltenen unregelmässigen Vierecks die Grenzen der Fläche zu befahren, bis man wieder zu demselben Ausgangspunkte gelangt ist. Hat man vordem den Stand des Zeigers abgelesen, so giebt die jetzt von ihm durchlaufene Strecke direct die Grösse der Area des Vierecks. Dividirt man dieselbe durch die Distanz der beiden verticalen Linien, so erhält man die mittlere Höhe, welche den Werth des Mitteldruckes repräsentirt.

Die Kostspieligkeit des Weltli'schen Planimeters hat einem anderen Planimeter Eingang und Verbreitung bei den Physiologen verschafft, welcher auf Taf. XII Fig. 3 und 4 dargestellt ist. Dies ist der Polarplanimeter von Amsler.

Das Princip dieses Instrumentes wird durch die Fig. 2 Taf. XII erläutert. *EC* stellt eine grade Linie dar, welche sich um den unbeweglichen Punkt *E* in horziontaler Ebene bewegen kann. Die Gerade *CF* ist mit *EC* im Punkte *C* beweglich verbunden und liegt in derselben Horizontalebene. Mit dem Ende *F* dieser Linie *FC* kann man leicht jeder geraden oder krummen Linie nachgehen, während *C* einen Kreisbogen beschreibt und *E* unbeweglich fixirt ist. Ist mit der Linie *CF* an irgend einer Stelle, z. B. bei *D*, eine lothrecht stehende Laufrolle

verbunden, die sich um eine *CF* parallel und senkrecht darüber liegende Achse drehen kann, und berührt sie mit ihrem scharfen Rande die Horizontalebene, in welcher *EC* und *F* liegen, so wird sie bei Bewegungen von *F* auf derselben Ebene schleifen und rollen können. Wenn man nun mit dem Punkte *F* eine geschlossene Curve umfährt, so wickelt sich an der Rolle *D* ein Stück ab, welches dem umfahrenen Flächenraum proportional ist.

Die mathemathische Ueberlegung[1]) zeigt, dass dieser Flächenraum gleich ist einem Rechteck, dessen eine Seite der abgewickelte Bogen, dessen andere die Länge von *CF* ist. Bezeichnen wir durch *I* den Flächenraum, durch *u* den beschriebenen Bogen und durch *r* die Länge von *CF*, so ist $I = ru$.

Auf Taf. XII stellen die Fig. 4 und 3 zwei Ansichten von diesem Instrumente dar, von oben und von der Seite.

Die Linie *EC* ist durch den viereckigen Messingarm *B*, die Linie *CF* durch den Arm *A* dargestellt. Das Ende *E* trägt eine durch ein Gewicht belastete Spitze, die irgendwie in der Zeichnungsebene (am besten ausserhalb) festgestellt wird; das andere Ende des Arms *B* ist durch die Achse *C* mit dem Arm *A* verbunden.

Dieser letztere Arm *A* trägt an dem einen Ende den Fahrstift *F* und in seiner Verlängerung die Laufrolle *D*. Der tiefste Punkt der Rolle, die Polspitze *E* und die Spitze des Fahrstiftes *F* müssen immer in derselben Zeichnungsebene liegen. Die Laufrolle *D* trägt an ihrem Rande eine Theilung, an welcher mittelst des am Rahmen *H* angebrachten Nonius *O* die Grösse des abgewickelten Bogens zu messen ist. Die horizontale Kreisscheibe *G* ist um eine verticale Achse drehbar und mit *D* durch eine Schraube ohne Ende in Verbindung gesetzt; bei der Bewegung von *D* wird sie mitgedreht, und zwar so, dass auf eine volle Umdrehung von *D* die Scheibe *G* $^1/_{10}$ Umdrehung macht. Man liest also an ihr die Zahl der ganzen Umdrehungen von *D*, an dem Nonius die Bruchtheile der Umdrehungen. Die Länge des Armes *A* kann beliebig gross genommen werden, indem er in der Hülse *H* verschoben wird. An den von Sauerwald gefertigten Exemplaren geschieht diese Verschiebung mittelst einer Mikrometerschraube und kann die Grösse der Verschiebung mittelst einer auf *H* angebrachten, mit Nonius versehenen Theilung abgelesen werden.

Durch die Möglichkeit, dem Arme *A* eine beliebige Länge zu geben, kann man das Instrument für jede Massen-Einheit einrichten. (Darin hat der Amsler'sche Planimeter einen Vorzug vor dem Weltli'schen). Bei jeder einzelnen Messung muss natürlich die Länge von *A* constant bleiben.

Am besten ist es, man giebt dem Arme *A* ein für alle Mal eine solche Länge, dass ein Rechteck aus dem ganzen Umfange der Rolle und der Länge dieses Armes = 1 □-Decimeter entspricht.

Man muss bei Messungen das Planimeter auf eine ganz horizontale Ebene stellen, am besten auf die gewöhnlich zum Zeichnen benutzten Tischchen. Das Curvenblatt muss faltenlos mit Nägelchen befestigt werden. Um die Messung zu vereinfachen, stelle man die Polspitze *E* ausserhalb der Curve (da sonst zu der

---

1) Die Originalbeschreibung von Amsler ist mir nicht zur Hand gewesen; ich folge daher ganz der von Fick in seiner medicinischen Physik gegebenen Darstellung. Auch die Zeichnungen sind aus demselben Werke genommen.

Ablesung noch eine constante Grösse zu addiren wäre) und bestimme vorher, ob bei dieser Einstellung der Polspitze der Fahrstift *F* die ganze Curvenfläche umfahren kann. Man sorge auch dafür, dass die Rolle *D* sich auf der Ebene leicht drehen kann.

Die Werthe, welche man durch Ausmessungen der Curven erhält, sind, streng genommen, nicht von derselben Bedeutung, wenn die Canüle, welche das Manometer verbindet, endständig in das Blutgefäss eingeführt, d. h. das peripherische Stück des Gefässes also abgebunden ist, oder wenn in dem Gefässe nur eine T förmige Canüle, etwa von der Art der im ersten Capitel (Taf. III Fig. 3) beschriebenen Ludwig'schen, eingebunden ist, welche den Strom ungehindert im Gefässe fortbestehen lässt. Nur im letzteren Falle entsprechen diese Werthe den wirklichen Seitendrücken des benutzten Gefässes. Im ersteren dagegen geben sie nur den Seitendruck in dem Stammgefässe an, von welchem der betreffende Ast abgeht, und auch den nur dann ganz genau, wenn dieser Abgang unter rechtem Winkel geschieht.

Da aber die Unterschiede in den Seitendrücken von Stamm und Ast gewöhnlich nur sehr gering sind und es sich meistens ja nur um Messung relativer Grössen handelt, so kann man die Werthe, welche man erhält, wenn die Canüle auch endständig eingebunden ist, sehr gut benutzen.

§. VII. Rotirende Cylinder. Vorrichtungen zur Controle der Gleichmässigkeit ihrer Bewegung.

Bei jedem graphischen Verfahren, welches den zeitlichen Ablauf irgend einer Bewegung wiedergeben soll, ist es ein nothwendiges Erforderniss, dass das zur Aufnahme der Curven bestimmte Papier mit grosser Gleichmässigkeit vor der schreibenden Feder vorbeistreift.

Soll ausser der allgemeinen Form der abgelaufenen Bewegung auch genau die Dauer aller ihrer Phasen studirt werden, so ist ausser der Gleichmässigkeit der Bewegung noch erforderlich, dass die Geschwindigkeiten dieses Vorbeistreifens genau gemessen werden können. Der Grund dieser Nothwendigkeit ist leicht einzusehen. Da die Abscisse der erhaltenen Curve die Zeit darstellt, während welcher die Bewegung abgelaufen ist, so müssen die einzelnen Theile dieser Abscisse denjenigen Momenten entsprechen, bei welchen die Bewegung eine gewisse Intensität erlangt hat. Man muss also bei Ausnutzung der Curven im Stande sein, den Werth, welchen jeder Abschnitt einer solchen Zeitabscisse darstellt, genau bestimmen zu können.

Da wir es in der Physiologie mit Bewegungen zu thun haben, welche sich meistens auf sehr kurze Zeiträume erstrecken, so ist es bei ihrer graphischen Darstellung nothwendig, die Zeitabscisse in relativ kleine Abschnitte eintheilen zu können.

Ausser der Gleichmässigkeit muss also das Curvenpapier sich meistens noch mit einer relativ grossen Geschwindigkeit bewegen. Je grösser aber die Geschwindigkeit, um so schwerer wird es, die Bewegung gleichmässig zu erhalten. Man sucht daher in der Physiologie die Apparate, welche das Papier bewegen, mit verschiedenen Geschwindigkeiten bewegen zu können, um in den Fällen, wo keine zu kleinen Zeiträume zu messen sind, nur mit relativ geringerer Geschwindigkeit zu thun zu haben.

Die gewöhnlichste Art, das Papier mit gleichmässiger Geschwindigkeit vor der schreibenden Vorrichtung vorbeizuführen, besteht darin, dass man es auf einem runden Cylinder ganz glatt befestigt und dann diesen Cylinder durch ein Uhrwerk in Rotation versetzt. Diese Bewegungsart ist in dem ursprünglichen Kymographen Ludwig's (Taf. XII Fig. 1) benutzt worden. Da der Umfang der Trommel und die Umdrehungszeit derselben leicht zu bestimmen war, so konnten auf der Zeitabscisse die einzelnen Abschnitte genau ihrer Dauer nach bestimmt werden. (Um das Papier der Trommel genau anlegen zu lassen, wurde es vor dem Ankleben zuerst mit Bleiwasser befeuchtet und geglättet.) Das Uhrwerk selbst wurde durch ein Gewicht in Bewegung gesetzt, seine Regulirung durch ein Kugelpendel (*a* der Fig. 1) oder durch verstellbare Windflügel vorgenommen.

Diese einfachste Einrichtung ist wohl jetzt noch die in den physiologischen Laboratorien verbreitetste. Einige dieser Apparate, welche von vorzüglichen Mechanikern wie z. B. von Sauerwald in Berlin nach Traube's Angaben angefertigt werden, leisten noch jetzt bei einfacheren Blutdruckversuchen vortreffliche Dienste. Das bei ihnen durch eine metallene Hülse geschützte Uhrwerk giebt eine ziemlich gleichmässige Umdrehung der cylindrischen Trommel.

Um ihre Brauchbarkeit zu prüfen, verfährt man am einfachsten in der Weise, dass man das Papier der Trommel in 4 genau gleiche Abschnitte durch verticale Linien theilt. Setzt man das Uhrwerk in Bewegung und beobachtet durch ein Fernrohr das Erscheinen der verticalen Linien im Fadenkreuz, so kann man mittelst eines Secundenpendels oder eines Chronometers mit genügender Genauigkeit die Zeit, welche zwischen dem Erscheinen der einzelnen Verticalen verstreicht, bestimmen. Sind diese Zeiten während 10—15 Umdrehungen unter sich gleich, so kann man die Angaben eines solchen Uhrwerks mit Vertrauen verwerthen.

Seit der ersten Einführung der graphischen Methoden sind die Apparate, welche das Papier in Bewegung setzen, bedeutend vervollkommnet und auch Controllvorrichtungen ihrer Gleichmässigkeit ausgearbeitet, die uns jetzt gestatten, die genannten graphischen Beobachtungen mit der grössten Präcision auszuführen. Ich werde hier die hauptsächlichsten und vorzüglichsten dieser Einrichtungen beschreiben und zwar nur diejenigen, welche bei haemodynamischen Versuchen verwendbar sind.

Diejenigen Einrichtungen aber, welche nur für sehr grosse Geschwindigkeiten getroffen sind, wie für die Aufzeichnung der Curve der Muskelcontraction u. s. w., werden im fünften Capitel berücksichtigt werden.

Von den Mängeln, welche das auf Taf. XII Fig. 1 dargestellte Kymographion darbietet, sind es zwei, welche bei haemodynamischen Versuchen besonders empfindlich sind. Erstens ist wegen des kleinen Umfanges des rotirenden Cylinders die Beobachtungszeit des Versuches sehr beschränkt. Die Nothwendigkeit des fortwährenden Papierwechsels ist höchst störend, und es bleibt doch dabei unmöglich, eine fortlaufende Curve zu erhalten, welche auch nur während einiger Minuten die im Blutdrucke vor sich gehenden Veränderungen ununterbrochen darstellen könnte. Man suchte zwar diesen Uebelstand durch Herauf- und Herunterschieben der Trommel auf ihrer Drehungsachse theilweise zu beseitigen, dies war

aber von weiteren störenden Folgen begleitet; so z. B. verlor man dadurch die Nulllinie, also die Möglichkeit den Blutdruck zu messen.[1])

Ein zweiter Mangel dieses Kymographion besteht darin, dass man seine Geschwindigkeit nur in sehr engen Grenzen durch Verkürzungen des Pendels oder Verstellung der Flügel variiren kann.

Dies ist besonders dann von Nachtheil, wenn es sich darum handelt, sehr langsame während einiger Stunden vor sich gehende Veränderungen im Blutdrucke oder in den Herzbewegungen zu verfolgen.

Die zwei Apparate, welche auf Taf. XIII und XVIII dargestellt, sind nach Ludwig's Angaben von Baltzer und Schmidt (Leipzig) construirt worden; sie beseitigen die erwähnten beiden Mängel auf die befriedigendste Weise und eignen sich ganz vorzüglich zur genauen Registrirung der meisten Bewegungen (mit Ausnahme einiger sehr schneller, wie etwa die Fortpflanzung der Erregungen in Nerven u. s. w.). Auf Taf. XIII Fig. I ist eine Einrichtung des Kymographion dargestellt, welche es erlaubt, einen Papierstreifen ohne Ende zwischen zwei Wellen abzuwickeln und so stundenlang ohne Unterbrechung die Blutdruckcurven aufzuschreiben. Diese Wellen sind nicht direct durch Achsen mit den Rädern des Uhrwerks verbunden, sondern werden durch eine Frictionsscheibe in Bewegung gesetzt, auf welche die Bewegung des Uhrwerks durch Wellen und Rollen übertragen wird. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, das Papier mit verschiedener Geschwindigkeit abwickeln zu lassen. Die genauere Einrichtung dieses Apparats ist folgende:

Die viereckige Eisenplatte *AA* ruht mittelst vier Füssen *BB*, ebenfalls aus Eisen, auf der viereckigen Holzplatte *CC*. Diese Platte wird mit Hilfe einer Wasserwage genau horizontal auf einem Tisch befestigt, wodurch auch die Platte AA horizontal eingestellt wird. *D* stellt eine dicke Papierrolle dar, welche auf einer Scheibe aus Eisenblech ruht und auf einer verticalen Stange aufgewickelt ist; durch diese Stange wird gleichzeitig die Scheibe in der Entfernung von ein Paar Centimeter auf die Platte *AA* befestigt. Der eine Rand dieses Papierstreifens kommt von der hintern Seite der Rolle her und geht die beiden vertical stehenden Wellen *E* und *U* vorbei, um auf der Welle *F* wieder aufgewickelt zu werden. Beim Abwickeln des Papiers von *D* und Aufwickeln auf *F* wird die Papierrolle von vorne nach hinten und in der Richtung von dem Uhrwercke *O* zur Schraube *Q* gedreht; die Welle *F*, in welcher der Papierrand durch einen Schlitz eingehakt wird, dreht sich dabei von hinten nach vorne und auch in der Richtung von *O* nach *Q*. *M* ist eine Scheibe, welche zur Unterlage für das aufgewickelte Papier dient. Die kleinen Metallrollen *NN* ruhen in gabelförmigen Achsenträgern und dienen dazu, das Papier an die Welle *U* anzudrücken. Durch die Schrauben *LL* kann ihr Druck

1) Eine sehr sinnreiche Einrichtung, um diesen Uebelstand zu beseitigen, hat Brondgeest angegeben. Sie besteht darin, dass der Cylinder durch eine besondere an dem Uhrwerk getroffene Einrichtung nach jeder Umdrehung eine geringe Senkung erleidet. Der Cylinder ruht auf einem Rädchen, das zwischen den Armen einer gabelförmigen Stange befestigt ist; diese Stange besitzt die Form eines zweiarmigen Hebels und wird mittelst über Rollen gelegter Schnüre von einem Zahnrad des Uhrwerks langsam nach oben bewegt. Der erste, welcher eine Vorrichtung anwandte, bei welcher die Trommel schraubenförmig sich während des Aufzeichnens der Curve regulirt, war übrigens Th. Young.

beliebig verstärkt oder geschwächt werden. Durch auf der Zeichnung sichtbare Hülsen werden die Arme, welche die Rollen *NN* tragen, in beliebiger Höhe auf der verticalen Stange *I* bewegt und durch die Schrauben *KK* fixirt. Eine ähnliche Bedeutung hat die auf der Stange *Y* durch die Schraube *Z* verstellbare Welle *X*, welche in den Achsenlagern *GG* drehbar ist. Diese Welle *X* drückt mit beliebiger von der Schraube *Z* regulirbarer Stärke das Papier auf die Welle *E* an. Sowohl die Rollen *NN* wie die Welle *X* müssen mit einem Drucke wirken, welcher gerade ausreicht, um das Papier an die Wellen *E* und *F* anliegen zu lassen, ohne weder das Vorbeistreifen des Papiers, noch die Bewegung dieser Wellen irgendwie zu hemmen.

Das Uhrwerk *OO* wird durch ein schweres Gewicht in Bewegung gesetzt.[1]) Diese durch verstellbare Windflügel regulirbare Bewegung wird von dem Zahnrade auf eine Achse und von diesem in auf der Zeichnung sichtbare Weise auf die verticale Welle *PP* übertragen, welche durch zwei an der untern Fläche der Platte *AA* befestigte Stützlager hindurch geht.

Auf dieser Welle befindet sich die Rolle *R*, welche zur Uebertragung der Bewegung auf die Frictionsscheibe *V* dient. Diese Rolle *R* wird von der Welle *T* mittelst des Armes *S* getragen und kann auf der Welle *PP* in der Weise verschoben werden, dass sie entweder mehr im Centrum oder in der Peripherie der Scheibe *V* eingestellt wird. Die Verschiebung geschieht durch Drehung der Schraube *W*, welche in eine im Inneren der Welle *T* befindliche Schraubenmutter hineinpasst; Q ist der Kopf dieser Schraube. Da diese Welle *T* hohl ist, so kann bei Näherung der Rolle *R* zum Centrum der Scheibe *V* die Welle *PP* in dieselbe theilweise hineingeben. Die auf der Zeichnung sichtbaren Stützlager für die Welle *T* sind ähnlich denen für *PP* an die Platte *AA* angebracht.

Die Frictionsscheibe *V* überträgt die ihr mitgetheilte Bewegung unmittelbar auf die Welle *U* und von dieser aus wird die Welle *F* durch eine übergelegte Schnur in Bewegung versetzt.

Das Abwickeln des unendlichen Papierstreifens geschieht hier also dadurch, dass der eine Rand des Papiers fest mit der Welle *F* verbunden ist. Wird also diese Welle auf die eben beschriebene Weise von dem Uhrwerk in Bewegung gesetzt, so wickelt sie um ihre Peripherie das Papier auf, indem es von der Rolle *D* abgewickelt wird. Die Geschwindigkeit, mit welcher dieses Aufwickeln geschieht, kann in ziemlich weiten Grenzen durch die Verstellung der Rolle *R* auf der Frictionsscheibe *V* variirt werden: je mehr sie der Peripherie genähert wird, um so grösser wird die Geschwindigkeit und umgekehrt; die Abhängigkeit dieser Geschwindigkeit von der Einstellung der Rolle *R* lässt sich leicht aus dem Verhältnisse ihres Radius zum Radius des Kreises, welchen sie aus der Scheibe beschreibt, berechnen. Die Umdrehungszeiten verhalten sich nämlich wie diese Radien. Bei einem gewissen Verhältnisse dieser Radien, wenn nämlich die Rolle *R* sich nahe am Centrum der Scheibe befindet, ist ihre Geschwindigkeit natürlich gleich Null.

---

1) Fig. 3 zeigt die Art an, wie die Kette des Uhrwerks an einer Stelle auseinandergenommen werden kann, um das Gewicht einzulegen.

Die Art, wie das Manometer an dieses Kymographion angebracht wird, ist auf der Zeichnung sichtbar.

Auf der Holzplatte *CC* befindet sich eine verticale Stange, welche in die Hülse *h* des Manometers (Fig. 2) hineinpasst; mit Hilfe der Schraube *c* kann das Manometer auf beliebige Höhe eingestellt werden.

Die auf der Welle *U* oben beweglich befestigten Messingstäbchen dienen zum Anhängen kleiner Kügelchen auf Conconfäden, welche nach Ludwig's Vorgange zur Führung der Glasfeder und ihrem Anlegen an die Papierfläche benutzt werden; man sieht ein solches Kügelchen (ein gewöhnliches Schrotkorn) durch den Faden *o* auf der verschiebbaren Oese *u* aufgehängt. Die auf der Zeichnung nahe der Stange *i* sichtbare Stahlfeder mit Sperrhaken dient dazu, um den Contact der Scheibe *V* mit der Rolle *R* beliebig herstellen oder unterbrechen zu können.

Die Bedeutung des Elektromagneten und der an die Platte *CC* befestigten Vorrichtung wird am Ende dieses Paragraphen erläutert.

Während in dem bisher beschriebenen Apparate die Geschwindigkeit der Bewegung durch die verschiedene Einstellung der Rolle auf der Frictionsscheibe erreicht wird, kann in der auf Fig. 1 Taf. XVII dargestellten Vorrichtung die Geschwindigkeit der Trommeldrehung dadurch geändert werden, dass sie auf verschiedene Achsen übertragen wird.

Die erste Achse macht 1 Umdrehung, die zweite Achse 2, die dritte Achse 8 in der Minute. Die auf der Zeichnung sichtbaren Stellschrauben dienen gleichzeitig als entsprechende Achsenlager.

Das Uhrwerk wird durch eine gespannte Feder in Bewegung gesetzt und die Gleichmässigkeit der Bewegung durch den Centrifugalregulator von Foucault erreicht.

Die Anwendung dieses Regulators bildet einen der Hauptvorzüge dieses Uhrwerks. Die Wirkungsweise desselben beruht bekanntlich darauf, dass bei beschleunigtem Gange des Uhrwerks die Windflügel weiter auseinanderfahren und so einen grösseren Widerstand erzeugen, dagegen bei Verlangsamung dieselben sich einander nähern und so den Widerstand verringern. Ein Mangel dieses von Marey in die Physiologie eingeführten Apparates besteht darin, dass die Drehungen der Achsen in verschiedenen Richtungen geschehen, man daher aus leicht ersichtlichen Gründen die Stellung des Schreibe-Apparates bei Veränderung der Achsen auch verändern muss. Dies ist aber bei Manometerversuchen sehr unbequem und oft gar nicht möglich. Auch ist dieser Apparat für Versuche, bei welchen der Cylinder sich um eine verticale Achse drehen muss, mit grossen Nachtheilen verbunden; der Foucault'sche Regulator wird dann so gestellt, dass die Flügel sich in einer verticalen Ebene drehen: der Einfluss der Schwere vermindert dann bedeutend deren regulirende Wirkung.

Das für die Manometer angebrachte Gestell (natürlich kann man darauf statt des Fick'schen auch ein Quecksilbermanometer in derselben Weise anbringen) ist daher nur für die eine Achse berechnet, nämlich für die mit geringster Geschwindigkeit, welche für Blutdruckversuche die am häufigsten gebrauchte ist.

Will man längere Zeit den Versuch ohne Unterbrechung fortsetzen, so muss man das Manometer auf verschiedene Höhen einstellen. Um die Nullinie für die verschiedenen Curven zu erhalten, ist es dann nothwendig, die Verschiebung nur

um bekannte Distancen vorzunehmen, was durch Anbringung einer Papierscala auf der Stange leicht geschehen kann.

Auf der Tafel ist das Brett, welches das Uhrwerk trägt, vertical gestellt. Stellt man es horizontal ein, wozu auf dem Brette besondere, durch Schrauben zu regulirende Füsse vorhanden sind, so hat man statt eines um eine verticale Achse sich drehenden Cylinders einen solchen um eine horizontale Achse.

Dadurch wird dieser Apparat um Vieles brauchbarer und hauptsächlich für myographische Versuche sehr geeignet. Marey hat ihn auch fast ausschliesslich zu diesem Zwecke verwendet. Wir werden unten sehen, dass bei horizontaler Stellung des Apparates man noch eine vierte Achse gewinnt, die nämlich, welche den Regulator trägt und 8 Umdrehungen in der Secunde ausführt.

Auf der hintern Wand des Uhrwerkgehäuses befindet sich ein Zifferblatt mit einem Zeiger, welcher sich um die langsamste Achse des Apparates bewegt. Mittelst eines Chronometers kann man die Umdrehungszeit dieser Achse bestimmen. Die Umdrehungsgeschwindigkeiten der anderen Achsen lassen sich dann schon durch das oben angegebene Verhältniss dieser Achsen leicht berechnen.

Benutzt man diesen Apparat für Versuche mit dem Quecksilbermanometer, so muss man auch an ihm eine Ludwig'sche Führung für die Feder des Manometers anbringen.

Das Papier wird an die Trommel entweder durch Ankleben oder besser durch Einhaken der Ränder unter einem in der Mitte des Cylinders angebrachten nicht hervorstehenden Stabe befestigt.

Zur Berussung des Papiers, bei Anwendung des Fick'schen Manometers mit Hebelvorrichtung, bedient man sich am besten eines dünnen Wachslichtchens, das man bei horizontaler Stellung der Trommel unter dieselbe hält, während das Uhrwerk im Gange ist. Man erhält so eine gleich starke Russbedeckung, welche dem Zeichenstift gestattet, sauber und mit geringer Reibung zu schreiben.

Eine grosse Vervollkommnung hat dieser registrirende Cylinder sowohl in seinem Mechanismus als in seiner Ausführung in den auf Fig. 1 und 2 Taf. XVIII abgebildeten Apparaten erlangt. Das Triebwerk besteht auch hier, wie in dem Marey'schen Instrumente, aus einem Federuhrwerk *A*, dessen Bewegungen durch einen Foucault'schen Regulator geregelt werden. Der Mechanismus des Uhrwerks ist aber hier in soferne verschieden, als die Variation der Geschwindigkeiten hier durch zwei Mittel erreicht wird:

1) durch die Frictionsscheibe *D*, deren Bewegungen durch die Rolle *n* auf Welle *M* und von da auf die Achse *P* des Cylinders *R* übertragen werden, und 2) durch Versetzungen der Räder im Uhrwerke selbst. Die Möglichkeit, solche Versetzungen vorzunehmen, ist in dem Uhrwerke zweimal gegeben, einmal an der Welle der Frictionsscheibe, welche ein Doppelrad trägt, das nach Belieben in das grosse oder kleinere Rad der Federtrommel eingehakt werden kann, und zweitens durch ein zweites Räderwerk dicht am Windfange, welches an einem Zapfen verschiebbar ist und in ein kleineres oder grösseres Triebrad eingreifen kann.

Die Versetzungen der Räder geschehen sehr leicht; durch besonders angebrachte Vorleger lassen sie sich in der gewählten Stellung ohne Mühe fixiren. Durch Versetzungen der Räder sowie Verschiebungen der Rolle an der Frictionsscheibe kann man die Umdrehungsgeschwindigkeit der 500 Mm. im Umkreise

besitzenden Trommel R von $^1/_8$ Minute bis zu zwei Stunden variiren. Diese weiten Grenzen machen dieses Instrument zum vollkommensten und brauchbarsten von allen bisher in Anwendung gekommenen. (Die ausgezeichnete und sorgfältige Herstellung dieses Apparates von Baltzer und Schmidt in Leipzig lässt nichts zu wünschen übrig).

Von den übrigen sehr zweckmässigen Einrichtungen dieser Vorrichtung wollen wir noch folgende hervorheben. Die Verschiebung des Rades n auf der Scheibe D geschieht mittelst der Schraubenvorrichtung L; die kleine Rolle n' dient zur Führung der Rolle n; der Grad der Verschiebung dieser Rolle lässt sich durch einen Zeiger an der Scala o ablesen. Die an den Scalen angebrachten Ziffern zeigen direct das Verhältniss der Radien der Rolle und der Scheibe — dadurch lässt sich die Umdrehungszahl der letzteren direct bestimmen.

Ganz besondere Beachtung verdienen die Einrichtungen, durch welche der Cylinder R mit seiner Welle P in die Achsenträger eingelegt wird und auf seiner Welle verschoben werden kann. Diese Verschiebung geschieht mittelst des Schlittens u, der mit einem Trägerarm T versehen ist und die Rolle a führt; diese Rolle a trägt auf eine aus der Zeichnung leicht verständliche Weise die Trommel und bewegt sie auf seiner Welle nach oben oder nach unten, je nach der Drehungsrichtung der kleinen Kurbel U, welche durch die Schraubenvorrichtung v den Schlitten u auf dem Geleise der Säule H bewegt.

Die Achsenzapfen der Welle P werden in die Pfannen h und Q in der Weise eingelegt, dass man zuerst den untern Zapfen in die untere Pfanne hineinbringt und sodann die Trommel auf den Trägerarm legt, die obere bewegliche Pfanne h durch den federnden Arm d etwas emporhebt und so den obern Zapfen in dieselbe hineinschnappen lässt.

Die Trommel R lässt sich auf der Welle P umlegen, zu welchem Zwecke die beiden mit Speichen versehenen Basen der Trommel ganz gleich construirt sind. Die Stange Y dient zum Anbringen eines Zeitmarkirers, der Arm x zum Aufhängen der Ludwig'schen Führung für die Feder des Manometers, die gusseiserne Platte bb zum Befestigen der Platte F nebst der ganzen Vorrichtung zum Tragen der Trommel, wenn man derselben eine horizontale Stellung geben will. Die Befestigungsweise in dieser Lage ist auf Fig. 2 wiedergegeben und bedarf wohl keiner besonderen Erläuterung. Diese Stellung der Trommel wird vorzugsweise für myographische Versuche verwendet.

Ein grosser Vorzug dieses Uhrwerkes vor dem Marey'schen besteht noch darin, dass bei jeder Benutzungsweise der Trommel das Uhrwerk immer vertical aufgestellt bleibt, die Flügel des Regulators also immer in einer horizontalen Ebene sich bewegen.

Da die Geschwindigkeiten an diesem Uhrwerk verschieden gewählt werden können, so ist die Vorrichtung getroffen, dass man die Feder, welche die Flügel spannt, von verschiedener Stärke einschalten kann.

Der Apparat würde an Brauchbarkeit noch viel gewinnen, wenn er gestatten würde, die Drehungsrichtung beliebig zu wechseln; für myographische Versuche ist dies oft von grossem Nutzen.

Für die letzterwähnten Versuche hat unlängst Breguet nach den Angaben Marey's einen grossen Apparat mit Uhrwerk construirt, das durch Gewichte

in Bewegung gesetzt wird. Die Geschwindigkeit kann auch in diesem Apparat durch Versetzung der Räder dreimal verändert werden; eine besondere Vorrichtung gestattet, nach Belieben die Umdrehungsrichtung der Trommel zu wechseln. Dasselbe Uhrwerk dient auch zur Bewegung des Myographions nebst Tischträger, welcher der Trommel entlang geht, ersetzt also auch den später zu beschreibenden Marey'schen Schlitten-Apparat. — Statt des Foucault'schen Regulators ist der neue Apparat mit dem noch genaueren Villarceau'schen versehen. —

So vollkommen alle die beschriebenen Einrichtungen zur Herstellung einer gleichmässigen Bewegung der mit Papier bedeckten Cylinder auch sind, so ist es bei sehr vielen Versuchen doch nothwendig, die Gleichmässigkeit ihrer Bewegung noch durch besondere Vorrichtungen auf das Genaueste zu controliren. Diese Controle besteht darin, dass auf dem rotirenden Cylinder durch irgend welche Marken ganz gleiche Zeitabschnitte angezeigt werden, die um so kürzer sein müssen, je kurzdauernder die zu beobachtende Erscheinung ist, je schneller also die Umdrehung der Trommel geschieht. Solche Controlvorrichtungen sind natürlich bei den Apparaten, wo die Geschwindigkeit der Bewegung variirt werden kann, also z. B. bei den mit Frictionsscheiben versehenen, schon darum unumgänglich nothwendig, weil bei ihnen jedesmal die vorhandene Geschwindigkeit erst besonders bestimmt werden muss. Die gewöhnlichste Art, die Drehungsgeschwindigkeit eines Cylinders zu controliren, besteht darin, dass man an dem Pendel einer Secunden-Uhr eine Feder in der Weise anbringt, dass er bei jeder Bewegung eine punktförmige Marke auf den Cylinder macht. Verbindet man dann diese Punkte mit einander, so erhält man eine in Secunden abgetheilte Zeitabscisse.

Auf eine vollkommenere Weise kann diese Controle erreicht werden, wenn man die sogenannte elektrische Zeitmessung benutzt. Wir sind oben schon mehrfachen Anwendungen dieser Zeitmessung begegnet, welche von Helmholtz in der Physiologie eingeführt wurde. Die Gebrauchsweise dieser Messung ist sehr einfach: durch irgend eine in regelmässigen Intervallen wiederkehrende Bewegung wird ein Strom geschlossen oder geöffnet, der einen Magneten umkreist; bringt man an diesem Magneten einen beweglichen metallenen Anker an, der in eine Schreibfeder ausläuft, so wird er ihn bei jeder Stromesschliessung anziehen, bei jeder Oeffnung wieder loslassen. Hat man seine Feder der Trommel in passender Weise genähert, so wird man auf ihr eine Reihe von Strichen oder Punkten erhalten, deren Intervalle denen gleich sind, welche den Strom schliessen und öffnen. Czermak scheint der Erste zu sein, welcher diese Einrichtung für den hier behandelten Zweck empfohlen hat. Die erste vollkommene Anwendung hat er von Brondgeest in Donders' Laboratorium bei der schon erwähnten Untersuchung gefunden. Man stellt sich eine solche Vorrichtung am einfachsten her, wenn man den Strom durch den Pendel eines Metronoms unterbrechen lässt, dem man die gewünschte Geschwindigkeit ertheilt. Befestigt man an diesem Pendel einen leichten bogenförmigen Drath in der Weise, dass er bei einer gewissen Stellung des Drathes in ein Näpfchen mit Quecksilber taucht, so wird er bei jedem Eintauchen einen Strom schliessen können, der einerseits diesem Pendel, andererseits dem Näpfchen zugeführt wurde. (Ueber die zweckmässigste Art solcher Taucheinrichtungen s. Cap. V.)

Die einfachste elektromagnetische Schreibvorrichtung, durch welche dieser Strom dann geleitet werden muss, ist auf Taf. XIII, Fig. 1 dargestellt. α ist der Elektromagnet, γ, γ zwei Klemmen, die den Strom zuführen, und β der Anker mit Schreibfeder. Man sieht auf dem Papier die gezeichnete Zeitcurve. Etwas complicirter ist ein anderer elektromagnetischer Markirer, der zuerst von Bowditch in Ludwig's Laboratorium verwendet wurde. Man sieht ihn auf Taf. XIX, Fig. 1 und 2.

Bei Anwendung eines unendlichen Papierstreifens wird das Abzählen der Zeiten durch die Länge der Curven sehr erschwert. Diese Einrichtung des elektromagnetischen Schreibeapparates dient nun dazu, diese Schwierigkeit insofern zu verkleinern, als er ausser jeder Secunde noch jede fünfte und jede zehnte Secunde durch die Länge der gezeichneten Striche direct abzulesen gestattet.

A und *A'* sind die beiden Elektromagneten. *B* der um eine Achse drehbare Anker; er ist mit der Stange *C* verbunden, welche die Schreibvorrichtung trägt; *B* hebt und senkt *C* bei jeder seiner Bewegungen. Der senkrechte Gang dieser Stange ist durch die an der Säule *D* angebrachtem Führung gesichert. Um jeden fünften und zehnten Strich eine grössere Länge zu geben, trägt der eine Arm des Ankers einen beweglichen Haken *a* und einen kleinen Zapfen *b*; an die Säule *D* ist an der entsprechenden Stelle um eine horizontale Achse *c* eine Scheibe *d* beweglich angebracht, die mit einem Zahnrade *e* verbunden ist. Bei jedem Niedergange des Anker-Armes *B* zieht nun der in die Zähne dieses Rades *e* eingreifende Haken *a* diese Scheibe *d* herunter; beim Aufgange des Armes hingegen stemmt sich der Zapfen *b* an den Rand dieser Scheibe und bestimmt auf diese Weise die Weite der Excursion, welche der Arm machen kann. Das Zahnrad *e* besitzt zwanzig Einschnitte. Bei jedem Ankerschlage rückt es sammt der Scheibe um 0,05 seines Umfanges. Der Rand der Scheibe trägt aber vier Einschnitte *f f*, zwei oberflächlichere, dem fünften und fünfzehnten, zwei tiefere, dem zehnten und zwanzigsten Zahn entsprechend; jedesmal wenn diese Einschnitte vor den Zapfen *b* kommen, wird derselbe in sie hineinkommen, wodurch die Excursion des Anker-Armes *B*, also auch der Stange *C* natürlich vergrössert wird. Die Feder wird also jede fünfte und fünfzehnte Secunde einen längern, jede zehnte und zwanzigste Secunde einen noch längern Strich auf das Papier machen. (Selbstverständlich wird dasselbe Verhältniss der Striche behalten werden, wenn die Unterbrechung auch öfters, also jede Secunde geschehen wird.)

Der Sperrhaken *g* dient, um die Drehung des Rades in eine andere Richtung, als die von dem Anker angegebene, zu verhindern. —

Im 5. Capitel ist eine Pendeluhr beschrieben und abgebildet, welche die Unterbrechung des elektrischen Stromes in regelmässigen, beliebig zu wählenden Intervallen gestattet. Verbindet man eine solche Pendeluhr mit dem eben beschriebenen Zeitmarkirer, so lassen sich jede Secunde oder noch seltner Signale auf dem Curvenpapier verzeichnen. —

Auf Taf. XVIII, Fig. 3 ist ein elektromagnetischer Schreibapparat dargestellt, dem die hier beschriebene Einrichtung abgeht, da er für das auf derselben Tafel abgebildete Kymographion mit constantem Umfange bestimmt ist; dagegen ist er mit einem Reizmarkirer verbunden, welcher dazu dient, auf demselben Papierstreifen, auf welchem die Blutdruckcurve gezeichnet wird, auch genau den Beginn

und die Dauer der etwa vorgenommenen Nervenreizung anzugeben. Ein ähnlicher Reizmarkirer ist auch auf der Taf. XIII angegeben. Seine Einrichtung wird im Paragraphen über die Reizunterbrecher (Cap. 5) beschrieben werden. Hier nur die Bemerkung, dass solche Reizmarkirer bei allen genauern haemodynamischen Versuchen, bei welchen Reizungen von Nerven vorkommen, durchaus anzuwenden sind.

Man stellt ihre Feder aus leicht einzusehendem Grunde am besten in derselben verticalen Linie ein, in welcher sich die Feder des Manometers und des Zeitmarkirers befinden. Zweckmässig ist es, dem Arme, welcher die Feder des Reizmarkirers trägt, eine solche Höhe zu geben, dass die von ihr gezeichnete Linie gleichzeitig der Nulllinie des Manometers entspricht.

Die noch viel exacteren acustischen Zeitmarkirer, unter denen obenan die schwingende Stimmgabel von Helmholtz und der vortreffliche Chronograph von Marey, Taf. XVII, Fig. 2 und 3, stehen, werden im 5. Capitel besprochen werden, da sie ihre Verwendung nur bei Trommeln finden, die mit sehr grossen Geschwindigkeiten sich bewegen. —

§. VIII. Manometer für Froschherzen.

Während die im § V beschriebenen Manometer zuerst nur die Blutdruckschwankungen in den mit ihnen verbundenen Arterien anzeigen, kann man durch Einführung einer Canüle durch die Aorta direct in das Froschherz mit dem Manometer sowohl seine Bewegungsweise als auch die von ihm geleistete Arbeit genauer studiren. Ein solches Manometer ist zuerst eingeführt worden, als ich nach Ludwig's Angaben es versuchte, das ausgeschnittene Froschherz vermittelst Durchleitung eines Blutstromes längere Zeit leistungsfähig zu erhalten, um es auf diese Weise unter möglichst normalen Bedingungen verschiedenen Prüfungen unterwerfen zu können. Vorerst sollte an einem so hergerichteten Herzen der Einfluss der Temperaturveränderungen auf Zahl und Stärke der Herzschläge studirt werden. Die ersten zu diesem Zwecke construirten Manometer waren daher mit Vorrichtungen versehen, welche es gestatteten, das Herz auf verschiedene Temperaturgrade zu bringen und zu erhalten. Auf Fig. 1, Taf. XX sind diese Nebenvorrichtungen mit abgebildet worden, weil sie möglicherweise noch zu ähnlichen Zwecken benutzt werden können. Aus demselben Grunde habe ich auch die später an diesem Manometer angebrachten Einrichtungen von Coats, Luciani und Marey auf derselben Tafel beibehalten; diese Einrichtungen entsprechen verschiedenen Versuchszwecken, und da diese Methode der Untersuchung des Herzens noch eine reiche Ausbeute für den Experimentator darbietet, so kann eine Anführung aller schon getroffenen Verbesserungen nur am Platze sein.[1])

Ehe zur Beschreibung dieser Manometer nebst Zubehör geschritten wird, sollen einige Worte über den Bau des Froschherzens und die Circulation bei schwanzlosen Batrachiern vorausgeschickt werden, welche für das Verständniss der anzuwendenden Vorrichtung durchaus erforderlich sind.

Das Froschherz besteht bekanntlich aus zwei Vorhöfen *a*, *b* und einem Ventrikel *c* (Fig. 3, Tafel XXI). Fig. 5 und 6 derselben Tafel zeigen die gegensei-

1) Siehe auch den Nachtrag zu diesem Capitel.

tige Lage und Form dieser Herztheile von der vorderen und hinteren Seite gesehen. Die Vorhöfe haben, wie man sieht, eine mehr rundliche, der Ventrikel dagegen eine fast regelmässig kegelförmige Gestalt. An der vorderen Seite tritt aus dem Ventrikel eine cylindrische Ausbuchtung, der Bulbus arteriosus *d* hervor, welcher sich in zwei Aorterien: die Aortae dextra *f* et sinistra *e* theilt, von denen die letztere etwas weiter ist. Die hintere Fläche des rechten Vorhofes trägt eine grössere Erweiterung — Sinus venosus genannt — *g*, welche aus der V. cava inferior *k* sich bildet und an der Uebergangsstelle in den rechten Vorhof noch die beiden Venae cavae sup. *i*, *i'* aufnimmt. Die beiden Venae pulmonales *l*, *l'* treten in den linken Vorhof, welcher, obgleich von dem rechten durch eine Scheidewand getrennt, doch mit ihm durch eine am untern, etwas verdickten Rande dieser Wand befindliche Oeffnung communicirt. An der Grenze zwischen dem Sinus venosus und dem rechten Vorhof befindet sich eine Eustach'sche Klappe.

Eine vortreffliche Darstellung des Baues und der Circulationsverhältnisse der Frösche (und anderer Amphibien) ist von Brücke geliefert worden, der wir in den folgenden Zeilen auch wörtlich folgen wollen: „Wenn man das Herz des Frosches in der mehrbeschriebenen Weise präparirt, so überzeugt man sich leicht, dass der Ventrikel keine sogenannte unvollkommene Scheidewand enthält, sondern, dass er vielhöhlig ist. Die einzelnen Fächer und Hohlräume gehen einerseits bis dicht unter die Oberfläche und münden andrerseits sämmtlich in einen rundlichen Gang, welcher, im vorderen Theile des Ventrikels gelegen, von links nach rechts gegen das arteriöse Ostium hinstreicht. Die Hauptabtheilungen der Fächer werden gebildet durch Fleischbalken, welche von der Wand des Ventrikels gegen die Ostia venosa und den besagten Gang hinziehen. Diese Structur ist in der Fig. 1, Taf. XXI abgebildet, welche den Durchschnitt des Herzens von Bufo cinereus, welches durch Talginjection präparirt ist, einmal im Durchschnitt vergrössert, darstellt."

„Das Ostium venosum sinistrum ist mit *a* und das Ostium venosum dextrum mit *b* bezeichnet. Die Klappen, welche diese Ostien verschliessen, sind theils durch den Schnitt, theils durch Eintrocknen geschwunden. Diese Klappen bestehen aus dünnen Häutchen, welche an das Septum der Vorhöfe grenzen. Bei *c* ist das Ostium arteriosum, und der Pfeil deutet den vorerwähnten Gang an, in welchen die einzelnen Hohlräume ausmünden. Am Ostium arteriosum befinden sich drei Semilunarklappen, welche den Rückfluss des Blutes bis zum Ventrikel verhindern. Der aus diesem hervorgehende kurze Schlagaderstamm ist bekanntlich mit Muskelfasern belegt und bildet so einen Bulbus arteriosus, der sich regelmässig am Ende jeder Kammersystole zusammenzieht. In demselben befindet sich eine unvollkommene Scheidewand. Dieselbe erstreckt sich durch die ganze Länge des Bulbus und hat einen oberen linken angehefteten und einen unteren rechten freien Rand."

„Das hintere Ende des freien Randes schliesst sich an die untere linke Seite des Ostium arteriosum, und hier ist die Scheidewand mit der ihr zunächst liegenden Semilunarklappe durch ein äusserst zartes Häutchen verbunden. Nach vorne zu breitet sich die Scheidewand in eine häutige Tasche aus, welche als Semilunarklappe vor dem Eingange in die Körperschlagadern liegt."

„Aus dem Bulbus arteriosus gehen bekanntlich zwei grosse Schlagaderstämme, ein rechter und ein linker hervor, welche jeder (wie Joh. Müller gezeigt hat) durch zwei in ihnen der Länge nach verlaufende Scheidewände in drei Kanäle ge-

theilt werden. Der vorderste derselben endigt in der sogenannten Glandula carotidis, aus welcher die Carotis und die Schlagader hervorgeht, die der Zunge und der Muskulatur des Unterkiefers bestimmt ist. Ich will ihn deshalb Canalis carotico lingualis nennen . . . .“

„Den mittleren der vorbesagten Kanäle will ich Canalis aorticus nennen, weil er beiderseits in den Aortenbogen ausläuft.“

„Auch hier setzt sich wieder die rechte Aorta in die Aorta abominalis fort, während die linke mit ihr nur durch eine kleine Oeffnung communicirt und dann zur Schlagader des chylopoetischen Systems wird. In der Höhe der Glandula carotidis und an der Stelle, an welcher der Canalis aorticus in den Arcus aortae übergeht, befindet sich in demselben eine bisher unbekannte Klappe höchst eigenthümlicher Art. Diese Klappe ist in der Weise angeheftet, dass ihr freier Rand gegen das Herz hinsieht und sie sich also, sobald der Blutstrom gegen sie andrängt, aufrichtet und das Lumen des Gefässes theilweise versperrt. So paradox das Vorkommen dieser Klappe auf den ersten Augenblick erscheint, so werden wir doch in der Folge sehen, dass sie ihre wichtige und leicht erklärliche Bedeutung für die Mechanik des Kreislaufs hat, indem sie ebenso, wie die Glandula carotidis, dem in die Körperschlagadern eindringenden Blute gleich anfangs einen bedeutenden Widerstand entgegensetzt . . . .“

„Der Eingang in den dritten der Arterienkanäle, welchen ich Canalis pulmonalis nennen will, liegt nach links und hinten vom Septum bulbi und ist mit einem eigenen Paare von Semilunarklappen versehen, welches den Rückfluss des Blutes aus den Respirationsschlagadern in den Bulbus verhindert, so dass sich also am oberen Ende des Bulbus im Ganzen nicht drei, sondern vier Semilunarklappen befinden.“ —

„Der Canalis pulmonalis theilt sich in zwei Aeste, wovon der eine die Lungenschlagader ist und der andere sich wiederum in zwei Hauptäste spaltet, mit welchen er die ganze Haut des Rumpfes und zwar ausschliesslich versorgt.“ —

Brücke macht mit Recht darauf aufmerksam, dass dieser Ursprung der Hautarterien, welcher ihnen unoxydirtes Blut, ebenso wie der Lungenarterie zuführt, gleichsam eine Oekonomie des arteriellen Blutes gestattet, was bei der respiratorischen Bedeutung der Froschhaut sehr zweckmässig ist. Die beschriebenen Theile sind in den Brücke entnommenen Abbildungen auf Taf. XXI, Fig. 4 und 3 nach Präparaten von der Rana esculenta dargestellt. Der Canalis carotico-lingualis ist mit *1*, der Canalis aorticus mit *2* und der Canalis pulmonalis mit *3* bezeichnet; *q* ist die Glandula carotidis, *c* die Art. carotis, *l* die Arteria lingualis, *n* ist die Aorta, *v* die Klappe im Aortenbogen, *r* die Arterie der Haut, *p* die Lungenarterie und *f* das Frenulum bulbi.

Die Circulationsverhältnisse im Froschherzen gestalten sich nun nach Brücke's Beobachtungen folgendermaassen: Der Ventrikel erhält während der Diastole aus den beiden Vorhöfen verschieden gefärbtes Blut: dunkelrothes aus dem rechten, und hellrothes aus dem linken Vorhof. Wie schon H. F. J. C. Mayer gezeigt hat, kann man durch Abschneiden der Herzspitze während der Diastole zwei verschieden gefärbte Blutströme hervorrufen. Von diesen zwei verschieden gefärbten Blutarten, deren theilweise Sonderung im Ventrikel durch den beschriebenen Bau der innern Herzwand gefördert wird, fliesst im Beginne der Systole das dunkelrothe in den

Canalis pulmonalis, am Ende der Systole das hellrothe in die zwei andern Kanäle der Aorta. Die Richtung des venösen Blutes nach den Arterien der Haut und der Lunge ist bedingt erstens dadurch, dass im Beginne der Systole, wenn die Semilunarklappen noch nicht ganz geöffnet sind, das nach rechts gedrängte Septum Bulbi den Strom zu dem Canalis pulmonalis ablenkt, und zweitens dadurch, dass im Beginne der Systole die Herzkräfte noch zu gering sind, um die Hindernisse zu überwinden, welche sich im Canalis carotico-lingualis durch die Glandula carotidis, im Canalis aorticus durch die oben beschriebene Klappe entgegenstellen. Wird aber die Systole verstärkt und öffnen sich die Semilunarklappen vollständig, so wird dadurch das Septum bulbi in der Weise abgelenkt, dass der Canalis pulmonalis ganz verschlossen wird, das jetzt ausströmende hellrothe Blut wird also in die Körperarterien gedrängt. Die jetzt verstärkten Herzkräfte beseitigen die im Beginne dieser Arterien vorhandenen Widerstände, von denen eben die Rede war. —

Will man sich von den anatomischen Verhältnissen des Froschherzens selbst Rechenschaft geben, so injicirt man, nach dem Vorgange von Ludwig, Brücke und Andern, das Herz durch die V. cava inferior, indem man es entweder mit Talg auspritzt, dann trocknet und mit warmem Terpentinöl den Talg wieder auszieht, oder man injicirt in das Herz eine erwärmte Leimlösung, der etwas Farbestoff hinzugefügt wird, und lässt es dann in einer Spirituslösung erhärten. Sehr zweckmässig ist es auch, das Herz mit Luft zu füllen und es dann in Spiritus trocknen zu lassen. Bei allen diesen Injectionen muss man alle Gefässe, die V. cava inferior und die Aorta sinistra ausgenommen, ganz abbinden; hat man dann eine Canüle in die V. cava inferior eingebunden, so schneidet man die offen gebliebene Aorta ein, lässt alles Blut aus dem Herzen ausfliessen, ohne indessen der Luft den Eintritt zu gestatten, und schreitet nun zur Einspritzung, die so lange dauern muss, bis die Lösung ungemischt aus der Aorta auszufliessen begonnen hat, worauf man die beiden Gefässe unterbindet. Solche Injectionen eignen sich auch in hohem Grade für das Studium der Vagusverzweigungen und der Ganglienlagerung in der Scheidewand der Vorhöfe und dem Atrioventricularseptum (Ludwig, Bidder u. A.).

Ich schreite nun zur Beschreibung des ursprünglich von mir gebrauchten Manometers, das auf Taf. XX Fig. 1 abgebildet ist. Von *a* bis *f* ist das Manometer zum Theil aus einer Glas-, zum Theil aus einer Platinröhre hergestellt; die letztere besitzt eine T-Form und ist in dem zum Herzen gewendeten Schenkel des Manometers eingelackt. (Es ist bei der neuern Einrichtung das Manometer nebst Ansatzstück aus einer Glasröhre gebogen und da, wo das Platinröhrchen abgeht, ein Glasrohrzweig eingeschmolzen.) Diese Tförmige Röhre dient dazu, Serum über das Quecksilber bequem bringen zu können und das Ansatzstück damit zu füllen. Das Verbindungsstück des Manometers mit dem Herzen und den Röhren, welche zum künstlichen Kreislauf im Herzen dienen, besteht aus folgenden Theilen:

In den Boden *tm* des grossen Metallcylinders *ghik* sind, in einer Entfernung von etwa 12 Mm. von einander, zwei gerade verticalstehende Metallröhrchen eingelöthet, von denen das eine *oo* kürzer ist, als das zweite *pp*. Aus dem letzteren gehen zwei Zweigröhrchen ab, von denen das untere *qrs* schräg gegen die Cylinderwand emporläuft, welche es bei *h* durchbohrt, um mit der freien Mündung

s ausserhalb des Cylinders zu erscheinen. In diese Mündung kann ein feines Thermometer so weit hineingeschoben werden, dass die Quecksilberkugel bis *g* reicht. Das zweite Zweigröhrchen *lu* geht unter rechtem Winkel ab, durchsetzt die Wand *gi* des Cylinders und wird mittelst einer Kautschukröhre mit dem einen Ende der Manometerröhre verbunden. Da wo *lu* und *pp* zusammentreffen, ist ein T-förmig durchbohrter Hahn eingeschaltet, durch dessen Drehungen das untere Ende der Röhre *pp* entweder mit ihrem oberen Abschnitte oder mit dem Querstücke *lu* in Verbindung gesetzt wird.

Der Bogen aus einer Glasröhre *vwz*, welche einen gläsernen Kreislauf darstellt [1], wird mittelst Kautschukröhren bei *v* und *z* mit *o* und *p* verbunden. An die unteren Enden der Röhren *oo* und *pp* werden zwei Glascanülen durch Kautschukröhrchen heraufgeschoben, von denen die eine in die linke Aorta, die andere in die V. cava inferior eingeführt wird. — Um die Herzwände vor Zerrung zu schützen, haben diese Canülen eine Biegung, welche auf Fig. 4 derselben Tafel dargestellt ist. Der Cylinder *ABCD*, welcher dann angebracht wird, wenn das Herz schon mit den Canülen befestigt ist, hat doppelte Wände, so dass eine Flüssigkeit, welche durch *F* zwischen diese Wände eingeführt wird, durch *E* wieder abfliessen kann. Die Fenster an den beiden gegenüberstehenden Wänden dienen dazu, um das Herz während des Versuchs sichtbar und zugänglich zu machen. Der Cylinder wird durch einen Ring an den Boden *tm* mittelst der Stifte *GG* befestigt. Der Glascylinder *IKLM* steckt wasserdicht mit seiner Metallfassung *HH* in *hg*.

Will man einen Wasserstrom von dem Cylinder *IKLM* zu *ABCD* leiten, so genügt es, die Röhre *N* mit *F* durch einen Kautschukschlauch zu verbinden.

Diese Cylinder werden natürlich nur dann angebracht, wenn man das Herz Temperaturveränderungen unterwerfen will, sonst kann der obere ganz weggelassen werden; man behält dagegen den untern, um das Herz vor Verdunstung zu schützen.

Um das Froschherz einer Prüfung mit Hilfe des Manometers zu unterwerfen, ist es nothwendig, in demselben einen künstlichen Kreislauf von Serum oder mit Kochsalzlösung verdünntem Blut herzustellen, welche einerseits das Herz durch Speisung längere Zeit leistungsfähig erhalten und andererseits die Bedingungen geben müssen, damit die Thätigkeit des Herzens sich auf dem Manometer in bekannter Weise äussern könne.

Zur Speisung des Herzens, also zur Füllung der Röhren, welche für den künstlichen Kreislauf bestimmt sind, würde sich natürlich am passendsten frisches, defibrinirtes Froschblut eignen. Es ist aber sehr schwer, sich grössere Quantitäten dieser Flüssigkeit zu verschaffen, welche für die längere Dauer eines Versuches ausreichend wären. Es wurden daher andere Flüssigkeiten auf ihre Fähigkeiten geprüft, bei solchen Versuchen mit Nutzen verwendet werden zu können, und so hat sich frisches Kaninchenserum als die am meisten taugliche erwiesen. Bei späteren Versuchen stellte es sich heraus, dass auch defibrinirtes Blut mit einer schwachen ein- oder zweiprocentigen Kochsalzlösung dreimal verdünnt auch zur Ernährung des Froschherzens mit Nutzen verwendet werden kann. Ein gut schlagendes Froschherz, mit solchem Serum oder Blute gefüllt, kann eine bedeutend

1) Auf der Zeichnung ist das obere Ende des Bogens weggelassen.

längere Zeit mit ungeschwächter Kraft fortarbeiten, als es sonst ohne eine solche Füllung thut. Wird der Herzschlag kleiner und seltener, so genügt es, das gebrauchte Serum oder Blut durch frisches zu ersetzen, um die Herzkraft wieder zu heben. Es lässt sich also nicht bezweifeln, dass diese Flüssigkeiten gewisse nutritive Zwecke erreichen: umsomehr, als sie nach längerem Gebrauche untauglich werden und durch frische ersetzt werden müssen.

Die Füllung der Kreislaufsröhren, sowie des Manometeransatzes bietet keine Schwierigkeiten. Man beginnt z. B. zuerst die Füllung des Kreislaufsbogens mit einer Spritze von dem unteren Ende der Röhre *pp* aus, wobei man den Hahn so stellt, dass das Manometer von der Communication mit dem oberen Theil von *pp* ausgeschlossen ist. Sodann verschliesst man das untere Ende der Röhre *oo* mit Kautschukröhre und Klemme, dreht den Hahn in der Weise, dass *pp* mit dem Manometer in offene Verbindung tritt, und setzt von derselben Stelle die Füllung fort. Die Luft aus dem zum Herzen gekehrten Schenkel des Manometers entweicht dabei aus der Zweigröhre, welche sich an diesem Schenkel befindet. Ist auch dieses Ansatzstück gefüllt, so verschliesst man diese Zweigröhre und entfernt die Spritze.

Ehe ich die Verbindungsweise des Herzens mit dem Manometer beschreibe, will ich zuerst einige Modificationen anführen, welche dieser Apparat später erfahren hat und die in den übrigen Figuren derselben Tafel (XX) dargestellt sind.

Fig. 2 stellt die bei Gelegenheit der Versuche von Coats in Ludwig's Laboratorium vorgenommene Veränderung dar. Der Apparat für die Temperaturänderungen ist hier wegen des verschiedenen Versuchszweckes ganz weggelassen. Statt des Kreislaufsbogens wird zur Herstellung der künstlichen Circulation die Vena cava mit einem offnen Trichtergefäss *A* verbunden, welches durch diese Vene einen Strom von Serum durchsendet, jedesmal, wenn die Zweigröhre *F*, die in diesem Manometer an einer andern Stelle angebracht ist, geöffnet ist. Diese Vorrichtung eignet sich vorzugsweise zu Versuchen mit Reizung der Herznerven des Frosches. Man schneidet auch daher nicht das isolirte Herz, sondern den ganzen entsprechenden Brusttheil des Frosches heraus; damit das Herz stärker prominire, schiebt man durch den Oesophagus eine dickere Glasröhre durch. (Auf der Zeichnung sichtbar *J*.)

Von der ursprünglichen Vorrichtung viel abweichender ist die auf Fig. 3 abgebildete; sie dient dazu, um bei abgebundenem Bulbus aortae das Manometer mit dem Ventrikel mittelst einer Canüle, die durch den Sinus venosus und Vorhof hindurchgeht, zu verbinden. Die besonderen Einrichtungen des Manometers selbst sind aus der Zeichnung klar. Als Schreibfeder wird hier nicht mehr, wie in den früheren Manometern, ein Strohhalm mit Nadel, sondern eine, gewöhnlich bei den Manometern verwendete, feine Glasfeder *g* benutzt, die auf dem feinen Strohhalm angebracht ist, welcher in dem Froschmanometer als Schwimmer dient. (An ihrem untern Ende sind solche Strohhalme zu diesem Zwecke mit Kügelchen aus Sigellack versehen.) Diese Glasfeder *g* schreibt auf unberusstem Papier und wird, wie bei allen Manometern, durch einen feinen Coconfaden *h* geführt, der ein kleines Gewicht trägt. Die Feder *g'* schreibt die Nulllinie des Manometers auf.

Das Gefäss *l* wird mit Serum gefüllt und dient, um das Herz vor dem Austrocknen zu schützen. Besonderor Erwähnung bedürfen noch die Vorrichtungen zur Füllung des Herzens mit der ernährenden Flüssigkeit. Zu diesem Zwecke dient eine Mariotte'sche Flasche, welche, mit Serum oder Blut gefüllt, dasselbe während des Versuches dem Herzen regelmässig zuführt, und zwar so, dass frische Flüssigkeit aus der Flasche nachschiebt in dem Maasse, als das Serum durch die Herzwände durchfiltrirt. Der Druck, unter welchem die Herzcontraction jedesmal beginnt, bleibt also während des ganzen Versuches derselbe. Der untere Theil der Flasche trägt eine Ventileinrichtung, welche die Bestimmung hat, den Rücktritt des Serums aus dem Ventrikel in die Flasche zu verhüten, da ja sonst nicht die ganze, aus dem Herzen herausgetriebene, Serummenge zur Hebung des Quecksilbers im Manometer verwendet wäre, die Messung der Herzarbeit also ungenau würde. Diese Ventilvorrichtung erinnert an die im vorigen Capitel beschriebene, welche Czermak in seiner Trachealcanüle verwendet hat. Sie besteht aus dem Glascylinder *a*, welcher mit der Flasche durch das Röhrchen *b* communicirt. Der in diesen Cylinder durch einen Kautschukpfropfen hineinragende Glasbecher *c* ist oben mit einem Goldschlägerhäutchen überzogen, das durch die Druckänderungen gehoben und gesenkt werden kann. Dieses Häutchen ist an einer Stelle seines Randes fein durchbohrt, so dass die im Cylinder befindliche Flüssigkeit mit der des Bechers communiciren kann.

Bei der Contraction des Herzens wird dieses Häutchen nach oben emporgewölbt und schliesst die Oeffnung der Röhre *b* ab, wodurch die aus dem Herzen tretende Flüssigkeit gezwungen wird, ganz in das Manometer zu treten.

Diese letztere Operationsweise, welche von Bowditch und Luciani und A. angewandt wurde, bringt in vielen Hinsichten das Herz in ganz neue Bedingungen. Das Abschnüren ganzer Herztheile mit den zugehörigen Nervenapparaten, die Entleerung des Ventrikels durch das Ostium venosum, die bei dem oben beschriebenen Baue der inneren Herzwand vielleicht nicht ganz ohne Einfluss ist, machen dieses Verfahren nur für ganz specielle Versuchszwecke zulässig.

Eine Modification des beschriebenen Verfahrens hat Blasius in Fick's Laboratorium in Anwendung gebracht. Das Herz wird in einem geschlossenen Glascylinder auf die zwei schon erwähnten Canülen aufgehängt; die eine dieser Canülen ist wie gewöhnlich in die linke Aorta, die andere in die V. cava inferior eingebracht. — Die letztere Canüle wird mit einem Serumbehälter verbunden; die erstere mündet in einem Manometer, aber derart, dass man mit Hilfe einer von ihm abgehenden Zweigröhre im Stande ist, einen beliebig grossen Theil der aus dem Herzen geschleuderten Flüssigkeit zur Hebung des Quecksilbers zu verwenden. — Ausserdem wird das Herz noch in einen wasserdicht verschlossenen Cylinder gebracht, den man mit einer schwachen $^1/_2$ % Kochsalzlösung füllt. Von diesem Cylinder geht nun eine Zweigröhre ab, welche senkrecht nach oben gebogen wird und mit der Luft in freier Verbindung steht. „Gab man nun dem Niveau der Kochsalzlözung in dem offenen Schenkel einen mittleren, dem Niveau des Herzens entsprechenden Stand, so musste sich bei jeder Füllung des Herzens das Niveau der Kochsalzlösung über das Mittel hinaus erheben und bei jeder Entleerung wieder unter den mittleren Stand senken" (Blasius). Die Stärke dieser Niveauschwankungen musste natürlich der Serummenge proportional sein, welche

mit jedem Herzschlage aus dem Ventrikel geschleudert wird. — Versieht man die freie Mündung dieses senkrechten Ansatzrohres mit einem leichten Schwimmer, der diese Niveauschwankungen auf einem Kymographion verzeichnet, so kann man aus ihrer Grösse (bei bekanntem Lumen des gleichweiten Rohrs) auch die bei jedem Herzschlage ausgepresste Serummenge berechnen.

Marey hat diese Blasius'sche Vorrichtung insofern modificirt, als er anstatt mit Flüssigkeit den Glascylinder einfach mit Luft füllt, deren Verdichtungen mittelst seiner Lufttrommel auf einem rotirenden Cylinder aufgezeichnet werden. Das in die Aorta eingebundene Manometer liess er ganz weg.

Marey brauchte diese Vorrichtungen, um die Bewegungen des mit defibrinirtem Ochsenblute gespeisten Schildkrötenherzens zu studiren. Ich benutze sie jetzt auch für Froschherzen, wenn es sich nur darum handelt, die Zahl, die Form und die relativen Veränderungen der Stärke der Herzenscontraction zu notiren. Auf Taf. XX ist eine solche Vorrichtung in Fig. 4 wiedergegeben. *A* ist der Glascylinder, in welchem das Herz auf zwei Canülen aufgehängt wird, von denen die eine durch *v* mit der V. cava inferior, die andere durch *a* mit der Aorta communicirt; *t* ist die zur Verbindung mit der Lufttrommel bestimmte Röhre. — Die Excursionen des Hebels von der Marey'schen Lufttrommel sind sogar bei Froschherzen deutlich genug, um genau studirt werden zu können.

Die Blosslegungsweise des Froschherzens ist oben bereits beschrieben worden. Es erübrigt jetzt noch die Einführungsweise der Canülen[1]) sowohl, wie die Befestigungsweise des Herzens an dem Manometer anzugeben. Nachdem das Herz blossgelegt ist, spaltet man das Pericardium und schneidet seine zur Leber gehenden Bänder an allen Seiten so weit als möglich durch. Dann unterbindet man die Venen, welche beiderseits zum Herzen gehen. Zu diesem Behufe wird auf jeder Seite ein Faden unter die Körpervenen vor ihrer Vereinigung zu einer V. cava sup. und unter die Vena pulmonalis geführt, bei dessen Befestigung man etwaige Verletzung der Vorhöfe sorgfältig vermeiden muss. Sodann unterbindet man die rechte Aorta und führt einen Faden um die linke. Um zur Vene cava inferior zu gelangen, muss man den Ventrikel etwas hervorheben, wobei ein kleines Bändchen zu durchschneiden ist, das vom Pericardium zum Herzen geht. Um diese Vene ganz freizulegen, ist es rathsam, die zur Leber gehenden Bänder beiderseits bis zur Vene vorsichtig zu durchschneiden. Eine Schnittöffnung in der vorderen Wand der Vene gestattet, die Canüle über die Grenze des Sinus venosus hinaus in den rechten Vorhof hineinzuführen. Man muss die Canüle in der Weise festbinden, dass ihre Krümmung mit der Convexität nach rechts gerichtet ist; damit nämlich das Herz, wenn es an die Manometervorrichtungen angebracht wird, nicht gezerrt werde, müssen die beiden Canülen mit ihrer concaven Seite gegen einander gekehrt sein (wie auf Taf. XX Fig. 4). Demnach ist es auch nothwendig, die Aortencanüle mit der convexen Seite nach links einzuführen. Die Einführung dieser letzteren Canüle geschieht erst, nachdem die V. cava inf. bereits unterbunden worden ist, damit bei dem Anschneiden der Aorta das letzte noch im Herzen enthaltene Blut entweichen kann. Die Canüle muss durch den

1) Siehe im Nachtrage die von Kronecker benutzte sehr zweckmässige Canüle für solche Versuche.

Bulbus aortae hindurch, die Klappen vorbei, bis in den Ventrikel hineingeschoben werden; dies sowohl, damit durch diese Klappen nicht der Austritt des Serums aus dem Ventrikel gehindert wird, als auch, um die Verzeichnung der Bulbuscontractionen durch das Manometer zu vermeiden.

Die Füllung des Herzens geschieht von der Venencanüle aus sehr allmählich, damit der Ventrikel noch Zeit habe, durch seine eigenen Contractionen etwaige Luftblasen oder Blutgerinnsel zu entfernen. Man verbindet das Froschherz mit dem Manometer, erst nachdem man dessen Wände durch die Serumfüllung bis zu einem gewissen Grade gespannt hat. Das Herz arbeitet nämlich mit verschiedener Kraft, je nach dem Grade seiner Füllung. (Das Nähere über die Bedeutung des Füllungsgrades auf die Herzarbeit ist in den betreffenden Untersuchungen der schon citirten Autoren nachzusehen.) Im Allgemeinen muss die Füllung derart sein, dass der Ventrikel auch bei der stärksten Contraction noch etwas Serum übrig behält. Da das Serum durch die dünnen Wandungen des gefässlosen Froschherzens oft in geringer Menge durchfiltrirt, so ist es nothwendig, von Zeit zu Zeit durch nachfolgende Füllung des Herzens diesen Verlust zu decken. Bei der Luciani'schen Einrichtung wird dies durch die Mariotte'sche Flasche in sehr zufriedenstellender Weise erreicht.

Vor Verdunstung schützt man das Herz, indem man es von Zeit zu Zeit mit Serum befeuchtet, oder es ganz in einem mit Serum gefüllten Behälter sich contrahiren lässt.

Es fragt sich nun, welche Grössen mit den so eingerichteten Manometern am Herzen zu messen sind. (Es ist wohl kaum nothwendig, zuerst noch besonders hervorzuheben, dass mit diesem Manometer gewisse auf das Herz direct sich beziehende Grössen ermittelt werden, während die am Blutgefässe grösserer Thiere angestellten manometrischen Messungen nur die Druckschwankungen u. s. w. in dem betreffenden Gefässe angeben.) Die Zahl der Herzschläge wird von allen den beschriebenen Vorrichtungen genau wiedergegeben.

Die Einrichtung von Marey giebt auch über die Form der Herzcontraction ganz genaue Aufschlüsse. Die Quecksilbermanometer thun es natürlich nur in den schon oben bei der Prüfung der Manometer festgestellten Grenzen, welche (auf die früher schon angegebene Weise) für jedes Manometer zuerst ermittelt werden müssen. Wenn die Zahl der Herzschläge 80 in der Minute nicht überschreitet (was beim Froschherzen nur höchst selten und unter künstlich erzeugten Bedingungen vorkommt), so zeichnet ein Manometer, von den auf Taf. XX, Fig. 1 angegebenen Dimensionen, Curven, welche auch die Form der Herzcontraction richtig darstellen.

Die Marey'sche Modification lässt natürlich kein absolutes Maass für die Herzarbeit zu. Die Blasius'sche dagegen gestattet eine solche Messung, da die von Fick ersonnene Notirungsweise der Umfangsveränderungen des Herzens gestattet, die Menge der aus dem Herzen getriebenen Flüssigkeit auch unabhängig von dem in der Aorta eingebundenen Manometer zu bestimmen. —

Bestimmungen dieser letzteren Art können aber nur in dem Falle verwerthet werden, wenn genau darauf Acht gegeben ist, dass alles aus dem Ventrikel ausgetriebene Serum auch in die zum Manometer gehende Röhre gelangt; tritt dagegen ein Theil des Serums in den Vorhof zurück, so wird die verzeichnete Um-

fangsveränderung des Herzens natürlich zu gering ausfallen, Ein solcher Rücktritt ist aber nur dann mit Sicherheit zu verhindern, wenn die Canüle der V. cava den Vorhof hindurch bis in das Lumen des Ventrikels hineingeschoben wird, die Vorhöfe ganz abgebunden sind und die zur Speisung benutzte Mariotte'sche Flasche mit der von Luciani (s. oben) getroffenen Ventilvorrichtung versehen ist. Ist jedoch die Spannung des Ventrikels nicht besonders gross, die Atrio-Ventrikular-Klappen also sufficient, dann ist es gestattet, diese Vorsichtsmaassregel wegzulassen.

Ganz unter demselben Vorbehalte ist auch das Quecksilbermanometer zur Messung der vollen Herzarbeit zu benutzen. Die Arbeit wird hier berechnet aus der Höhe, bis zu welcher das Quecksilber im freien Manometerschenkel bei der Contraction steigt, und aus dem Gewicht der Flüssigkeit, welche dabei aus dem Herzen herausbefördert wird.

Das absolute Gewicht der herausgeworfenen Serummasse lässt sich leicht bestimmen aus seinem specifischen Gewichte, dem Querschnitt der überall gleich weiten Manometerröhre, und der Höhe, auf welche das Quecksilber gehoben wird.

Ist s das specifische Gewicht des Quecksilbers, r der Radius des Manometerrohrs, h die Hubhöhe des Quecksilbers, so wird das Gewicht der herausgeworfenen Serummenge gleich sein $\frac{\pi s r^2 h}{2}$. Um die volle Arbeit zu bekommen, müssen wir diesen Werth nur noch mit h multipliciren; sie ist also gleich $\frac{\pi s r^2 h^2}{2}$. Wenn es sich nur darum handelt, die proportionalen Aenderungen des Nutzeffects der Herzarbeit zu bestimmen, so kann man (wie ich es in meiner ersten Arbeit gethan habe) nur das Quadrat von der Grösse h dazu verwenden. Wenn man immer dasselbe Manometer und für jedes Herz dasselbe Serum benutzt, so kann man statt des Gewichts der aus einem Schenkel des Manometers in den andern gedrängten Quecksilbermenge die ihr proportionale Höhe h nehmen.

Wie schon erwähnt, kann man die Veränderungen des Nutzeffectes der Arbeit desselben Herzens nur dann untereinander vergleichen, wenn die Zusammenziehungen des Herzens von immer gleichen Drücken aus ihren Anfang nehmen. Die Abhängigkeit der Herzarbeit von dem Füllungsgrade des Herzens vor Beginn der Contraction lässt sich auch experimentel demonstriren, tritt aber nur dann deutlich hervor, wenn die Füllungsgrenzen weit von einander abstehen.

§ IX. Die Messungsmethoden der Geschwindigkeit der Blutbewegung.

Man kann die Geschwindigkeit des Blutstromes messen, indem man zu ermitteln sucht, entweder wie gross der Raum, welchen ein gewisses Bluttheilchen in der Zeiteinheit passirt, oder wie gross die Zeit ist, welche ein Bluttheilchen braucht, um den ganzen Kreislauf zu durchlaufen. Wir werden uns zuerst mit den Methoden beschäftigen, welche die Stromschnelle des Blutes auf die erste Weise zu bestimmen streben. Die einfachste Art einer solchen Ermittelung besteht darin, irgend ein durchsichtiges Blutgefäss unter das Mikroskop zu bringen und die Zeit zu bestimmen, welche ein Blutkörperchen bedarf, um eine gewisse Strecke zu durchlaufen. Da das Mikroskop den durchlaufenen Raum vergrössert, so muss man denselben selbstverständlich durch die Vergrösserungszahl des Mikroskops dividiren,

um die richtige Geschwindigkeit zu erhalten. Zu solchen Untersuchungen benutzt man entweder die Schwimmhaut und das Mesenterium des Frosches, oder das Mesenterium junger Säugethiere. Man breitet die zu beobachtende Strecke mit möglichst geringer Zerrung und indem man sie durch Befeuchtung mittelst einer sehr schwachen Kochsalzlösung vor Verdunstung schützt, auf einem dünnen Brettchen aus, das an der betreffenden Stelle einen Ausschnitt besitzt. Bringt man in dem Ocular ein Glasmikrometer an, so kann man direct die durchlaufene Strecke ablesen.

Es kann auf diese Weise natürlich nur die Geschwindigkeit des Strömens in den Capillaren oder ganz kleinen Arterien und Venen bestimmt werden. Wegen der sehr beträchtlichen Querschnittszunahme des Strombettes in der Gegend der Capillaren ist die Geschwindigkeit hier nur eine sehr geringe im Vergleiche zu der in den grossen Gefässen. Waller benutzte zu solchen Messungen auch das luxirte pigmentfreie Auge der Nagethiere.

Ein sehr sinnreiches Verfahren hat Vierordt benutzt, um an den eignen Retinalgefässen die Geschwindigkeit abzulesen. Man kann namentlich unter gewissen Bedingungen diese Gefässe am eigenen Auge entoptisch sichtbar machen. Vierordt projicirte nun die Netzhautaderfigur auf eine stark erleuchtete Milchglasscheibe, die von dem Auge in genau bekannter Entfernung abstand, notirte dann die Zeit, in welcher ein Blutkörperchen eine bestimmte Bahn zurückgelegt hatte, und berechnete die in den Retina-Gefässen durchlaufene Bahn aus der Formel $x = \frac{bc}{a}$, wo a den Abstand der Milchglasebene vom vorderen Knotenpunkt des Auges, b den Abstand der Retina vom hinteren Knotenpunkt und c die auf der Milchglasscheibe durchlaufene Strecke bezeichnet.

Aus der relativ grossen Uebereinstimmung, welche die Messungen von E. H. Weber, Volkmann, Valentin u. A. ergeben haben (etwa 0,5—0,8 Millim. in der Secunde), lässt sich schliessen, dass die directe Messung mit dem Mikroskope bei gehöriger Sorgfalt in den Beobachtungen für die betreffenden Gefässe ganz brauchbare Werthe liefert.

Die Ausbildung genauerer Messungsmethoden hat aber diese Bestimmungsart der Blutlaufgeschwindigkeit ganz in den Hintergrund gedrängt[1]). Volkmann hat zuerst eine Methode angegeben, mit welcher die Geschwindigkeit des Blutstromes auch in grösseren undurchsichtigen Gefässen gemessen werden konnte. Das von ihm construirte Instrument, Haemodromometer genannt (in unvollkommener Einrichtung zuerst von seinem Assistenten Hüttenheim beschrieben), besteht aus einer langen U-förmig gebogenen, engen Glasröhre, deren eines Ende in das centrale, das andere in das periphere Gefässstück hineingebracht wird; diese Röhre wird vor der Verbindung mit dem Gefässe mit Wasser gefüllt, welches von dem aus dem centralen Gefässe anrückenden Blut in das periphere Stück getrieben wird. Durch eine besondere Einrichtung des metallenen Zwischenstückes, das sich an den Enden der Glasröhre befindet, kann mittelst Umdrehung eines eingeschalteten Hahns die Röhre in den Blutstrom eingeführt oder aus demselben ausgeschlossen werden.

1) Die ältere Hering'sche Methode liefert nur ungenaue Werthe und ist auch ihr Princip nicht weiter verwendbar.

Wird der Hahn so gestellt, dass das Blut aus dem Herzen, um zur Peripherie zu gelangen, durch diesen Apparat gehen muss, so schiebt die eindringende Blutsäule das Wasser vor sich hin. An der zwischen beiden Schenkeln der Glasröhre angebrachten, in Millimeter getheilten Scala lässt sich die Strecke direct ablesen, welche das eingedrungene Blut in der Zeiteinheit durchlaufen hat. Da das Blut an der Berührungsgrenze sich mit dem Wasser vermischt, so ist es nothwendig, eine gewisse Mischungsfarbe des Blutes als diejenige zu wählen, deren Anlangen bis zu einer bestimmten Theilung des Manometers gemessen wird. Volkmann selbst hat bei seinen Versuchen die Zeit gemessen, welche vergeht, bis eine Blutmischung von der Farbenconcentration des reinen Blutes bis zu einem gewissen Theilstriche gelangt.

Nach zahlreichen Prüfungen seines Instruments glaubte Volkmann schliessen zu können, man sei berechtigt, seine Angaben als von den wirklichen Verhältnissen etwa nur um $^1/_{10}$ abweichende anzunehmen. In der That sind aber die Fehlergrenzen des Haemodromometers viel bedeutender und seine Angaben als kaum verwendbar zu betrachten. Die Hauptmängel dieses Apparates bestehen: 1) in den Widerständen, welche das lange und enge Rohr der Blutbewegung entgegensetzt; 2) in dem Eintreten von Wasser in das peripherische Gefässende, was auf den Zustand der Gefässwand, selbst bei geringer Wassermenge, nicht ohne Einfluss ist; 3) in der Nothwendigkeit, die Messung nur sehr kurze Zeit andauern zu lassen, sowohl weil das Eintreten grösserer Wassermengen zu vermeiden ist, als auch, weil die vollständige Ausfüllung der Röhre mit Blut die weitere Messung unmöglich macht; dies ist um so nachtheiliger, als, wie wir jetzt wissen, die Blutgeschwindigkeit in den Gefässen sehr grosse Schwankungen in relativ geringen Zeiträumen erleidet; 4) endlich in der Schwierigkeit, mit Genauigkeit die Grenze zu bestimmen, wo die Blutmischung genau die gewählte Farbe besitzt. Alle diese Uebelstände veranlassten die Physiologen, auf exactere Messungsmethoden zu sinnen. Das von Vierordt construirte Tachometer war im Vergleich zu dem Volkmann'schen Dromometer schon ein bedeutender Fortschritt. Das Princip, auf welchem dieses Tachometer beruht, ist den in der Hydraulik gebräuchlichen Stromquadranten oder Strompendeln entlehnt und besteht in der Bestimmung des Winkels, um welchen ein in dem Strom aufgehängtes Gewicht, das um einen gegebenen Mittelpunkt drehbar ist, durch den Strom abgelenkt wird. Das von Vierordt construirte Tachometer ist auf Fig. 5 Taf. XXII schematisch dargestellt. Es besteht aus einem kleinen kubischen Kästchen, dessen zwei gegenüberliegende Seiten auf ungleicher Höhe je eine Oeffnung besitzen, an welchen Röhrchen angebracht sind. Diese beiden Röhrchen werden mit zwei Enden des Blutgefässes in Verbindung gesetzt, wobei der durchfliessende Blutstrom dann das kleine in dem Kästchen aufgehängte Gewicht ablenkt. Aus der Grösse dieser Ablenkung wird auf die Stromesschnelle des Blutes geschlossen. Nach der Theorie dieses Instrumentes sollte man erwarten, dass die Tangenten des Ablenkungswinkels wie die Stosskräfte sich verhalten, und da diese den Quadraten der Geschwindigkeit proportional sind, so müssten die Geschwindigkeiten wie die Wurzeln aus der Tangente der Ablenkungswinkel wachsen. Die Erfahrung lehrte aber, dass dies nicht der Fall ist. Man muss daher dieses Tachometer vorher empirisch graduiren; dies geschieht in der Weise, dass man die beiden Röhren in einen Flüssig-

keitsstrom von gegebenem Querschnitte einschaltet und einerseits die Grösse der Ablenkungswinkel, andererseits die Ausflussmenge direct bestimmt und so die mittlere Geschwindigkeit, welche jeder Kugelablenkung entspricht, berechnet. Da man es bei der Einführung dieser Vorrichtung in den Blutstrom mit der Messung einer während der Dauer des Herzschlags wechselnden Geschwindigkeit zu thun hat, so ist es erforderlich, den Stand des Pendels auch während seiner Schwankungen genau ablesen zu können. Um dies zu ermöglichen, brachte Vierordt auf der äussern Seite des Kästchens einen beweglichen Zeiger an, der durch die mit der Hand ausgeführten drehenden Bewegungen den Excursionen des Pendels nachfolgt; das andere Ende des Zeigers schreibt seine Bewegungen auf einer rotirenden Trommel auf. Diese Vorrichtung hat vor dem Volkmann'schen Dromometer schon bedeutende Vorzüge. Es können aber auch bei ihr einige Ungenauigkeiten vorkommen, die dadurch verursacht werden, dass das Instrument nur für Röhren von einem bestimmten Querschnitte graduirt ist. Der dadurch entstehende Fehler in der Berechnung kann jedoch nur gering sein. — Etwas bedeutender können die Fehler sein, welche durch den eingeführten Widerstand und die Schwankungen in den Geschwindigkeiten möglicherweise verursacht werden. Auch die Schwierigkeit der Ablesung des schwankenden Pendels kann einige Ungenauigkeiten in der Verwerthung der Angaben dieses Instruments veranlassen.

Bei alledem ist dieses Instrument für Messungen der Stromgeschwindigkeit noch sehr brauchbar, da, wie wir jetzt wissen, die Stromschnelle des Blutes so vielen Schwankungen unterliegt, dass die kleinen Fehler in den Angaben des Apparates dagegen als sehr unbedeutend zu betrachten sind.

Dieses Instrument hat später von Chauveau bedeutende Modificationen erlitten, wodurch seine Leistungsfähigkeit nicht unbeträchtlich gesteigert wurde. Diese Verbesserungen beziehen sich einerseits auf die zweckmässige Form des Instruments, die dem Blutstrom geringere Widerstände entgegenstellt, andererseits auf die Möglichkeit, die Ablenkungen des Pendels viel genauer ablesen zu können. Fig. 5 auf Taf. XXIII stellt die Einrichtung dar, wie sie Chauveau seinem Apparate ursprünglich gegeben und Bertolus und Laroyenne verwendet haben.

Statt des viereckigen Kästchens bediente sich Chauveau einer den Dimensionen des zu untersuchenden Blutgefässes entsprechenden neusilbernen Röhre *a b*, deren Wand eine kleine viereckige Oeffnung hat, die durch eine dünne Lamelle von vulkanisirtem Kautschuk verschlossen ist. Die platte Nadel *d d* wird durch einen kleinen Spalt dieser Lamelle so in das Lumen des Gefässes eingestochen, dass sie von dem Blutstrom leicht abgelenkt werden kann. Der Spalt darf aber nicht in der Quere, sondern muss in der Richtung der Spannung der Lamelle gemacht werden, weil sonst durch die klaffende Spalte Blut austreten würde. An den Theilstrichen des an der Röhre befestigten kleinen Quadranten lassen sich die Ablenkungen der Nadel bequem ablesen.

Auch dieser Hämodromometer von Chauveau kann, wenn man ihn zur Messung der absoluten Geschwindigkeitsgrösse benutzen will, auf dieselbe Weise wie der Tachometer von Vierordt graduirt werden. Damit diese Graduirung noch zuverlässiger sei, ist es nothwendig, mehrere solcher Instrumente zu besitzen, deren Dimensionen für Gefässe von verschiedenem Querschnitte eingerichtet sind. Natürlich

muss die Nadel jedesmal gleich tief in das Gefäss hineingebracht werden, wie sie es bei der Graduirung war.

Trotz seiner Vorzüge ist auch dieser Chauveau'sche Apparat vielmehr geeignet, die relativen Schwankungen der Geschwindigkeit, als deren absoluten Werth anzugeben, und zwar kann er nicht nur grössere Schwankungen, sondern auch die, welche während eines Herzschlags vorkommen, zu beobachten gestatten. Besonders geeignet für solche Zwecke wird der Chauveau'sche Apparat, wenn man ihm die auf Taf. XXII Fig. 4 dargestellte Einrichtung giebt. *a* stellt diesen Apparat dar, der eine Zweigröhre mit Hahn *c* führt, durch welche er mit dem Marey'schen Sphygmoskop *b* (s. u.) verbunden werden kann. (Der ursprüngliche Chauveau'sche Dromometer Fig. 5 Taf. XXIII hatte auch eine Zweigröhre, welche nach Belieben mit einem Manometer verbunden werden konnte.) Statt, wie früher, die Bewegungen der Nadel an einem Quadranten abzulesen, hat man sie verlängert und mit einer Biegung versehen, welche es ihr gestattet, wenn ihre Spitze mit Tinte gefüllt ist, auf einer rotirenden Trommel ihre Bewegungen zu verzeichnen (Fig. *a bis* zeigt die Art, wie die Feder in das Lumen des Dromometers hineinragt). Die in Fig. 4 wiedergegebene Einrichtung ist die sehr zweckmässige, von Lortet bei seinen Versuchen verwendete. Sein Dromometer verzeichnet die Schwankungen der Geschwindigkeit auf dem Marey'schen Polygraphen *h*—*g*; während das durch die Kautschukröhre *d* mit der Marey'schen Lufttrommel *e* verbundene Sphygmoskop gleichzeitig die Druckschwankungen aufschreibt. (Der Marey'sche Polygraph besteht aus einem Uhrwerk, welches einen endlosen Papierstreifen zwischen zwei Wellen abwickelt.)

Dieser von Lortet modificirte Chauveau'sche Dromometer (Haemodromograph genannt) hat ausser seiner grossen Empfindlichkeit für die Schwankungen in der Stromschnelle noch den grossen Vortheil sehr leichter Anwendbarkeit.

Weniger leicht zu handhaben ist der von Ludwig construirte Apparat zur Messung der Stromesgeschwindigkeit, welcher zuerst von Dogiel beschrieben wurde. Diese Vorrichtung, Stromuhr genannt, hat aber dafür den Vorzug, dass sie mit ziemlicher Genauigkeit die Messung der mittleren Geschwindigkeit während eines ziemlich bedeutenden Zeitraumes gestattet. Das Princip, welches der Construction dieser Vorrichtung zu Grunde gelegt wurde, ist das der Aichung; sie gestattet direct die Blutmenge zu messen, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Gefässes fliesst. Die Ludwig'sche Stromuhr ist auf Taf. XIII Fig. 1 und 2 abgebildet. Sie besteht aus zwei Glaskugeln *K* und *K'*, deren Capacität genau gleich und vorher bestimmt ist. Diese Kugeln communiciren oben durch eine röhrenförmige Biegung, welche in den offenen Fortsatz *O* ausläuft. Dieser Fortsatz kann durch Kautschukröhre und Klemme beliebig geschlossen werden. (*K* ist im Durchschnitte, *K'* in Flächenansicht auf der Zeichnung dargestellt.)

An ihrem untern, freien Ende ist jede dieser Kugeln von einer Metallhülse umgeben, welche aus der Platte *pp'* hervorgeht. Diese Platte *pp'* liegt luftdicht auf der geschliffenen Metallscheibe *ss'* und werden beide an einander festgehalten durch die Schraube *n*, um die sie auch drehbar sind. Die Scheibe *ss'* (Fig. 3) ist dreimal durchbohrt, die mittlere Oeffnung *n* ist für die Schraube, die beiden Seitenöffnungen *H* und *C* (Fig. 3) setzen sich in zwei Röhren fort, die bei *H* und *c*

in zwei kleine Canülen (*c* der Fig. 2, s. auch Fig. 13 Taf. I) hineinpassen. Die Platte *pp'* umgreift durch einen vorstehenden Halbring den halben Umfang der Scheibe *ss'*. Dadurch ist bei nicht zu festem Anziehen der Schraube *n* die Platte *pp'* um 180° um die Scheibe *ss'* zu drehen, wobei abwechselnd die Kugel *K* oder *K'* durch ihre Röhre *m* und *m'* mit der Oeffnung *c* oder *H* in Communication versetzt wird. Füllt man nun die eine Kugel, z. B. *K*, mit gereinigtem Olivenöl, die andere Kugel *K'* mit defibrinirtem Blute und verbindet die Canüle *H* mit dem Herzende, *c* mit dem peripheren Ende einer Arterie, so wird das aus der Arterie durch die Canüle *H* in die Kugel *K* einströmende Blut das Oel in die Kugel *K'* treiben, während das defibrinirte Blut durch *c* in das periphere Ende gelangt. Misst man die Zeit, welche zur Ueberführung des Oels aus *K* nach *K'* erforderlich war, und kennt man die Capacität dieser Kugel, so hat man dadurch direct die Blutmenge bestimmt, welche in dieser Zeit durch den gegebenen Querschnitt der Arterie durchfliesst.

Ist nun das Oel in die Kugel *K'* übergeführt worden, so müsste der Versuch unterbrochen werden, damit der Eintritt des Oels in das peripherische Gefässende verhütet werde. Dadurch würde aber die mögliche Beobachtungsdauer eines Versuches sehr eingeschränkt sein.

Durch die beschriebene Einrichtung der beiden Platten ist aber die Möglichkeit gegeben, den Versuch auf eine viel längere Zeit auszudehnen. Es genügt nämlich, sobald das Oel vollständig in *K'* übergegangen ist, die Kugeln sammt Platte *pp'* auf der Scheibe *ss'* um 180° zu drehen, damit wieder die Kugel mit dem Oele zum Herzende, die mit Blut gefüllte zum peripheren Ende gekehrt wird. Solche Drehungen kann man so lange fortsetzen, bis der Beginn einer Blutgerinnung sich zeigt; aber auch jetzt ist es nicht erforderlich, den Versuch ganz zu unterbrechen; es genügt, diese Stromuhr aus ihrer Verbindung mit den Canülen *H* und *c* zu lösen und durch eine eben solche zu ersetzen, um die Beobachtung wieder aufnehmen zu können. Zur leichteren Bewerkstelligung der Umdrehungen, welche so schnell geschehen müssen, dass durch sie gar keine merkliche Verzögerung der Geschwindigkeit eintreten kann, dient die auf Fig. 1 dargestellte Gabel *g*, deren Zinken in zwei Fortsätze der Platte *pp'* eingreifen. Die Röhren *m* und *m'* auf Fig. 1 dienen zur Verbindung jeder, in die Canülen *c* und *H* mündenden Zuflussröhre der Kugeln mit einem Manometer. (In Fig. 2 ist die eine dieser Röhren durch *q* bezeichnet). Die Zange *vut* dient zur Befestigung des Apparates an einem Stativ oder der Stange des Czermak'schen Kopfhalters. Ihre Backen sind durch die Schrauben *v* an einander zu pressen und umgreifen eine Messingplatte, in welcher die Röhrenstücke zwischen *ss'* und *H*, *c* eingelassen sind. —

Die Verwerthung der von der Stromuhr erhaltenen Angaben geschieht in der Weise, dass man die Zahl der Secunden, welche für die Füllung einer Kugel nothwendig ist, durch ihren Rauminhalt dividirt. Um die Zahl der Secunden so genau als möglich zu erhalten, verfährt man so, dass man an der Gabel *g* eine Feder anbringt, welche jede Umdrehung der Kugeln auf einer rotirenden Trommel verzeichnet. Man kann zu diesem Zwecke sich auch des Metronoms bedienen, dessen Schläge man von einem Gehilfen zählen lässt. Der Rauminhalt wird endlich durch Aichung der Kugeln mit Wasser oder Quecksilber erhalten; nur

solche Kugeln sind verwendbar, welche wenigstens in ihren Ausbuchtungen vollkommen gleichen Inhalt zeigen. Auf die angegebene Weise erhält man ganz directe Angaben über das Volumen des Blutes, welches in der Zeiteinheit durch den Querschnitt eines Gefässes hindurchfliesst. Dieses Stromvolumen ist eben die Grösse, auf welche es bei solchen Beobachtungen am meisten ankommt. Will man die mittlere Geschwindigkeit aus diesem Volum berechnen, so muss man noch den Querschnitt des Blutgefässes mit in Rechnung bringen. Dieser Querschnitt ist schon bei Arterien wegen der fortwährenden Schwankungen ihres Lumens nur mit annähernder Genauigkeit auszumitteln. Bei den Venen, welche meistens etwas plattgedrückt sind, ist eine solche Durchmesserbestimmung immer ziemlich ungenau.

Solche Bestimmungen müssen vor der Einführung der Canüle mittelst eines Tasterzirkels vorgenommen werden; nur ist von der erhaltenen Grösse noch die doppelte Dicke der Gefässwand abzuziehen. Die Quadratfläche der Arterie wird mit Hilfe des so erhaltenen Radius bestimmt; hat man das Stromvolumen durch diese Fläche dividirt, so erhält man die mittlere Stromgeschwindigkeit.

Was nun die Genauigkeit der mit der Stromuhr zu erhaltenden Angaben betrifft, so ist sie von Dogiel einer erschöpfenden Prüfung unterworfen, welche ein ziemlich günstiges Resultat geliefert hat. Wählt man bei Anwendung der Stromuhren Canülen, deren Durchmesser denen des Blutgefässes möglichst gleich ist, und sind an der Stromuhr die Querschnittveränderungen so allmählich als möglich gemacht worden, sind ferner bei der Anstellung des Versuchs alle noch zu beschreibenden Cautelen sorgfältig eingehalten worden, so sind die Widerstände, welche die Einführung des Apparats in den Blutstrom erzeugen, während des constanten Fliessens, also bei Offenstehen der Verbindungen, ziemlich gering. Die durch die periodischen Umdrehungen der Kugeln u. s. w. erzeugten Widerstände sind aber ganz zu vernachlässigen. Die Angaben der Stromuhr bleiben auch dann noch ziemlich genau, wenn in der Stromgeschwindigkeit plötzlich bedeutende Schwankungen eintreten. Von dem geringen Werthe der durch diesen Apparat gesetzten Widerstände kann man sich theilweise dadurch überzeugen, dass Manometer, welche in die Röhren *m* und *m'* (Fig. 1) eingesetzt werden, nur ganz geringe Differenzen zwischen den Drucken ergeben, unter welchen das Blut in den Apparat ein- und austritt. Diese Differenzen übersteigen nach Dogiel's Beobachtungen, welche ich nur bestätigen kann, nicht 5 — 6 Mm. Bei den verwickelten Beziehungen zwischen Druck und Geschwindigkeit im Blutgefässsystem lassen sich freilich ähnliche manometrische Bestimmungen für diesen Zweck nur mit Vorsicht benutzen; verwerthbar sind sie aber doch, da, wie wir im ersten Paragraphen dieses Capitels gesehen haben, die Widerstände in verschiedenen Abschnitten einer durchflossenen Röhre der Druckdifferenz zwischen Beginn und Ende dieses Abschnittes gleichen. Die geringen Widerstände, welche die Stromuhr einführt, sind jedenfalls nicht bedeutender als diejenigen, welche durch die blosse Einführung von Röhrenstücken u. s. w. auch bei den andern Versuchsmethoden in dem Blutstrome erzeugt werden. Dagegen hat die Stromuhr den grossen Vorzug vor allen bisher beschriebenen Dromometern, dass sie direct die Ausmessung der Stromvolumina gestattet, welche in der Zeiteinheit einen gewissen Querschnitt eines Blutgefässes durchströmen, und dass diese Ausmessung bei einigem Vorrath von

solchen Apparaten sich auf längere Zeitintervalle erstrecken kann. Nur wenn es sich um Beobachtung relativer Geschwindigkeitsveränderungen handelt, die sehr kurze Zeit andauern, ist der Lortet'sche Haemodromograph der Ludwig'schen Stromuhr vorzuziehen. Ein Nachtheil dieser Stromuhr liegt, wie schon erwähnt, in ihrer schwierigen Handhabung, was um so mehr in Erwägung zu ziehen ist, als die geringste Nachlässigkeit bei ihrer Anwendung zu den grössten Irrthümern Veranlassung geben kann. Die nöthigen Manipulationen zur Füllung und Einführung der Stromuhr sollen ausführlich beschrieben und dabei die möglichen Fehler angegeben werden, welche man sorgfältigst vermeiden muss.

Man muss für jedes Thier eine Stromuhr von entsprechenden Dimensionen wählen, und zwar für Kaninchen und kleinere Hunde die kleinere, für grössere Hunde die grössere. Für jeden Versuch, auch wenn er nur zur Demonstration dienen soll, muss man einige Apparate gefüllt in Bereitschaft halten. Das zur Füllung der einen Kugel verwendete Oel (am passendsten neutrales Olivenöl) muss durch wiederholtes Schütteln mit warmem Wasser von Schleim möglichst gereinigt sein. Sonst klebt es der Wand an, mischt sich mit dem Blute, wodurch sich dann grosse Klumpen bilden, und der Versuch wird auf diese Weise vereitelt. Zur Füllung der zweiten Kugel verwendet man gut durchfiltrirtes, frisches, defibrinirtes Blut von derselben Thierspecies, welche zur Beobachtung benutzt werden soll. Man versieht die Kugel ein für allemal mit leicht sichtbaren Marken, sowohl an ihrer oberen als auch an der unteren Verengerung. Dies ist sowohl für eine genaue Füllung als auch dazu nothwendig, um die Grenzen genau bestimmen zu können, in welchen das Oel verschoben wird. Man beginnt zuerst mit der Füllung der Kugel mit Blut, was mittelst einer Spritze geschieht, welche in Kautschukröhrchen hineingeschoben wird, die man an den Ein- und Ausflussmündungen der Stromuhr anbringt. Die eine Kugel wird bis zur oberen Verengerung, die andere bis zur unteren gefüllt und zwar so, dass die Flüssigkeit oberhalb der Metallhülsen *m* und *m'* (Fig. 2) sichtbar wird. Hat man die eine Kugel gefüllt, so muss natürlich, ehe die Spritze entfernt wird, das Kautschukröhrchen mit einer Klemme verschlossen werden. Sind schon beide Kugeln bis zu den erwähnten Höhen mit Blut gefüllt, so dreht man die Platte *p p'* auf der Scheibe *s s'* um einen rechten Winkel; dadurch werden die Kugeln ausser Communication mit den Röhren gesetzt.

Die Einführung des Oels geschieht von oben her, durch die Oeffnung *O*, mittelst einer Pipette, die in eine fein ausgezogene Röhre ausläuft. Das eindringende Oel treibt die Luft heraus und muss den freien Raum der beiden Kugeln, sowie den sie verbindenden Bogen ganz ausfüllen; ist es in den Fortsatz *O* emporgestiegen und sind etwaige Luftblasen entfernt, so schliesst man ihn mittelst Kautschukröhre und Klemme, in bekannter Weise, ab. Sind mehrere gleich grosse Apparate auf diese Weise gefüllt worden, so schreitet man zur Blosslegung der Gefässe und Einlegung der Canülen. Während dieser Zeit hängt man die Stromuhr in Wasser von + 36° bis + 40° C. auf, damit das später in's Gefässsystem gelangende Blut die Körpertemperatur besitze.

Erlaubt es der sonstige Zweck des Versuches, so stelle man ihn am besten an mit Curare vergifteten Thieren an, weil hier noch mehr als anderswo eine Unbeweglichkeit des Thieres dem Versuche günstig ist.

Will man die Geschwindigkeit in den Arterien messen, so wählt man am besten die Art. carotis oder Art. cruralis. Von den Venen bieten die Vv. jugulares extern. und V. crurales die günstigste Lage. (Die Blosslegung dieser Gefässe wird auf die schon angegebene Weise ausgeführt.) Aus leicht einzusehenden Gründen ist es nothwendig, die einzuführenden Canülen ihrem Durchmesser nach so nahe als nur irgend möglich dem der Arterie entsprechend zu wählen. Man misst daher mit einem Tasterzirkel zuerst den Durchmesser des Blutgefässes und wählt dann unter den Canülen, welche gewöhnlich 1 bis 3 Millimeter, mit Zwischenstufen von $^1/_2$ Mm., im Durchmesser besitzen, diejenige, welche der Arterie am nächsten ist. Diese Canülen haben die auf Taf. I Fig. 13 dargestellte Form, sind aus Neusilber gearbeitet und besitzen sehr dünne Wände. Die an dem in's Gefäss kommenden Theil angebrachten Einschnitte dienen zur Befestigung der Fäden, das kleine Oehrchen zum Festbinden der Canüle an die Stromuhr.

Ist das Blutgefäss blossgelegt, so werden 2 Klemmpincetten an dasselbe angelegt in einer Entfernung von etwa 3—4 Centimeter, zwei Fäden um dasselbe geführt und an der vorderen Fläche der Gefässwand ein Einschnitt zur Aufnahme der Canüle gemacht Bei dem Einführen der Canüle wird sie an dem Oehrchen oder an dem für die Stromuhr bestimmten Rande mit einer Schieberpincette gefasst, wobei die Ränder der Gefässwand durch zwei Fäden oder Nadeln auseinandergehalten werden müssen. Noch besser ist es, zum Anfassen der Canüle sich des gekrümmten Stabes zu bedienen (Fig. 13 Taf. I), welcher genau in die Mündung der Canüle hineinpasst. In das dem Kopfe zugekehrte Ende des Gefässes werden die Canülen mit der rechten, in das andere mit der linken Hand hineingebracht. Sobald die Canüle in die Gefässmündung hineingeschlüpft ist, wird der schon früher am Faden gemachte Knoten fest angezogen, dann das eine Ende des Fadens durch das Oehrchen durchgeführt und wieder festgebunden, um das Abgleiten der Canüle zu verhindern. Der Faden muss dabei ganz nahe der Anlöthungsstelle des Oehrchens an die Canüle befestigt werden, damit, wenn seine Enden später an das Ansatzstück der Stromuhr gebunden werden, der Zug des Fadens wirklich die Canüle auf dieses Stück hinaufzieht. Befindet sich dagegen der Faden mehr in der Mitte des Oehrchens, so wird nur die entsprechende Seite der Canüle an das Ansatzstück gedrängt, wodurch bei der Kürze der Verbindung die entgegengesetzte Seite abgleitet und so die Communication der Uhr mit den Canülen unterbrochen wird. Dies ist eine der unangenehmsten und häufigsten Störungen bei solchen Versuchen und kommt nach längerem Gebrauche dieses Apparates in Folge der Abnutzung der Berührungsflächen oft vor. Ist daher der Faden von Anfang an am Oehrchen schlecht befestigt worden, so ist es rathsam, seine Enden abzuschneiden und einen neuen Faden durch dasselbe zu ziehen, der unmittelbar an der Anlöthungsstelle zugebunden wird. Um das häufige Abgleiten der Canüle zu vermeiden, ist es rathsam, an dieselbe zwei Oehrchen an den gegenüberliegenden Seiten anzubringen, oder auch (wie ich es letztens gethan habe) den Zapfen der Röhre, welche in die Canülen hineinpasst, konisch zuschleifen zu lassen; hat auch der entsprechende Theil der Canüle dieselbe Form, dann ist nicht nur das Abgleiten verhindert, sondern die Verbindung schliesst auch genauer und wasserdichter, was bei den gewöhnlich geformten Canülen nicht immer der Fall

ist, da an der Stelle, wo die Röhre der Uhr mit der Canüle zusammengefügt ist, nicht selten Blut durchsickert. Die zweite Canüle wird in das Gefäss durch eine andere Oeffnung hineingeführt, die nur ein paar Millimeter von der früheren entfernt sein muss. Wird diese Entfernung grösser genommen, so werden die Gefässenden bei der Verbindung der Canülen mit der Stromuhr nicht unbedeutend wegen der Retraction der Gefässwände gezerrt. Man durchschneidet das Gefäss zwischen den beiden Canülen erst, wenn sie beide durch Fäden in ihrer Lage ganz gesichert sind. Die Verbindung der Canülen mit der Stromuhr geschieht in der Weise, dass man sie mit der schon beschriebenen Zange *t u v* fest umfasst und diese dann so befestigt, dass die beiden Enden der Stromuhr (*H* und *c*) genau den Mündungen der Canülen entsprechen, damit die letzteren ohne besondere Zerrung oder Verschiebung der Gefässenden auf diese Endröhren gebracht werden können. Um letzteres auszuführen, greift man an die Oehrchen der Canülen mit einer Pincette, und sobald sie in die gehörige Lage gebracht sind, befestigt man sie, indem man die Enden des durch die Oehrchen gezogenen Fadens unterhalb der Zangenarme und der Manometerröhren *m m'* um das die Röhren einschliessende Ansatzstück schlägt. (Diese Manometerröhren werden, wenn nicht benutzt, durch Kautschukröhrchen, Glasstöpsel oder Klemme abgeschlossen.) Sodann bringt man die Gabelzange *g* an und dreht die Kugeln derart, dass sie in der Richtung des Blutstromes zu stehen kommen. Ein an dieser Scheibe angebrachter Stift dient dazu, die Drehung der Platte *p p'* nicht weiter als um 180° gehen zu lassen. Die Kugeln muss man natürlich so stellen, dass die mit Oel gefüllte sich an der Stelle des Gefässes befindet, von welcher das Einströmen geschieht, also bei einer Arterie an das Herzende, bei einer Vene an das peripherische. Ausser dem schon erwähnten Abgleiten der Canülen und Durchsickern von Blut aus denselben sind noch folgende Störungen zu erwähnen, welche die Versuche vereiteln können.

1) Da die Canülen möglichst dünnwandig gearbeitet werden müssen, um dem Blutstrome durch ihre Ränder keinen Widerstand zu bieten, so werden die Gefässwände besonders an den Venen leicht von diesen Rändern durchschnitten. Kommt eine solche Durchschneidung vor, so ist der Versuch sofort als misslungen aufzugeben. Man muss daher vor der Einführung der Canülen genau prüfen, ob ihre Ränder stumpf genug sind. Es ist auch beim Anfertigen derselben rathsam, die Aengstlichkeit von Widerständen nicht zu weit zu treiben und die Ränder lieber etwas dicker machen zu lassen. Auch darf man es nicht unterlassen, die gewählten Canülen erst um die Röhrenenden der zu verwendenden Stromuhr genau anzupassen, um sich von ihrem genauen Anliegen zu überzeugen.

2) Wie sorgfältig man auch die Füllung der Uhrkugeln vornehmen mag, so passirt es doch nicht selten, dass, sobald der Blutstrom in die Kugeln einzudringen beginnt, einige Luftbläschen in der Oelkugel emporsteigen. Gewöhnlich bleiben diese Luftbläschen am oberen Fortsatze *O* hängen, in welchem Falle sie auch keine Störungen veranlassen. Es kommt aber, wenn auch in seltenen Fällen, vor, dass sie, von dem Strome mitgerissen, in die Circulation gerathen. Dann bleibt nichts mehr übrig, als die Gefässenden zuzuklemmen, die Stromuhr aus der Verbindung mit den Canülen zu bringen und durch eine neue zu ersetzen. Solche Zufälle lassen sich immer vermeiden, wenn man auch die Canülen vorher mit defibrinirtem Blute bis zu der Stelle, wo die Klemmpincetten um das Gefäss

angelegt sind, füllt; — vor Verbindung der Canülen mit der Stromuhr muss auch genau nachgesehen werden, ob die freien Enden ihrer Röhren auch noch Blut enthalten.

3) Ein Zufall, der immer zum Aufgeben des Versuches zwingt und auch die schon erhaltenen Angaben werthlos macht, ist die beginnende Bildung von Blutgerinnseln in den metallenen Röhrenstücken. Wie sorgfältig man diese auch jedesmal nach dem Gebrauche reinigen mag, so wird die Gerinnung, besonders bei langsamer Blutströmung, mit Sicherheit nie ganz zu vermeiden sein. Man thut daher gut, nicht zu viel Drehungen mit der Stromuhr auszuführen, sondern dieselbe schon nach 20—30 Messungen zu wechseln. Bei Venen muss dies oft noch viel früher geschehen; aber auch bei Arterien gehören Fälle, wo man 40 und mehr Messungen ausführen kann, ohne dass auch die Spur einer Gerinnung sich zeigt, zu den grössten Seltenheiten. Sobald die Stromuhr aus der Verbindung mit dem Blutgefässe gebracht wurde, muss deren Inhalt sofort in eine Schaale oder, noch besser, auf ein feines Tüllfilter gegossen werden, damit man sich überzeugen kann, ob nicht in ihm kleine Gerinnsel enthalten sind. Findet man solche, so sind die gemachten Messungen nicht verwerthbar.

4) Es kommt dann und wann vor, dass man nicht rechtzeitig genug die Umdrehung der Kugeln ausführt, wodurch dann einige Oeltropfen in den Blutstrom gelangen können. Tritt ein solcher Missfall ein, so ist das Thier für den Versuch nicht mehr zu gebrauchen. Nicht nur werden durch Verstopfung der Capillaren neue Hindernisse für den Blutstrom erzeugt, sondern es entstehen auch nicht selten Embolien im Gehirn, wodurch das Thier in ganz abnorme Verhältnisse geräth. — Diese Störung vermeidet man am sichersten, wenn man selbst nur die Drehung der Uhr besorgt, die Zeitmessung aber einem Gehilfen überlässt.

Folgt man genau den hier gegebenen Regeln, so wird man die technischen Schwierigkeiten, welche mit dieser Methode verknüpft sind, bald überwinden lernen. — Will man einen solchen Messungsversuch zur Demonstration in der Vorlesung ausführen, so ist es vortheilhaft, die Wirkungsweise des Apparates zuerst mit Anwendung eines Wasserstromes zu erklären. Man füllt zu diesem Behufe die eine Kugel mit Wasser, die andere mit Oel, und verbindet die erstere durch Kautschukschlauch mit einem Wassertrichter. Erzeugt man durch Hebung dieses Trichters einen langsamen Wasserstrom, so kann man auf die beschriebene Weise durch Drehungen der Kugeln seine Geschwindigkeit messen und dabei die Wirkung der Vorrichtung demonstriren.

Eine erwähnungswerthe Methode, die Schwankungen der mittleren Geschwindigkeit des Blutstromes beim Menschen zu beobachten, haben zuerst Chelius und dann Fick angegeben.[1])

---

1) Der Grundidee nach ist dieses Chelius-Fick'sche Verfahren nur eine Anwendung des dem Kastenpulsmesser von Poiseuille zu Grunde liegenden Princips auf sämmtliche Gefässe eines Organs. Poiseuille hat eine blossgelegte Arterie *Kh* in ein kleines Kästchen mit Wasser (Fig. 3 Taf. XXXII) gethan und beobachtete die Volumenveränderung der Arterie nach den Schwankungen des Wassers in einem Seitenrohre *pefg*, das mit dem Kästchen communicirte. Fick dagegen legt den ganzen Arm in ein ähnliches Kästchen ein. Das Pulskästchen von Poiseuille kann noch manchen guten Dienst beim Studium der Volumenveränderungen der Arterien leisten.

Bei der Uebereinstimmung, welche die Fick'schen Versuche mit denen Chauveau's und seiner Schüler gezeigt haben, und Dank den neuen Ableitungen über die Blutgeschwindigkeit, welche sie gestatteten, kann es keinem Zweifel unterliegen, dass bei einer weiteren Verwendung des Fick'schen Apparates, und zwar auch bei Thieren, noch manche Resultate mit ihm zu gewinnen sein werden. —

Das Fick'sche Verfahren besteht darin, dass man irgend einen Körpertheil (bei Fick's Versuchen den Arm) in einen Cylinder von Zinkblech steckt, der an der einen Seite verschlossen und an der anderen durch einen dünnen Kautschukring von diesem Körpertheil (Arm) wasserdicht ausgefüllt wird. Dieser Cylinder besitzt zwei kleine Oeffnungen, von denen die eine zu seiner Füllung mit lauwarmem Wasser dient und durch einen Kork sich verschliessen lässt, die zweite mit einer U-förmig gebogenen Röhre verbunden ist, welche als Wassermanometer fungirt. Auf dem freien Spiegel dieses Manometers befindet sich ein Schwimmer aus Kork und Schilfstäbchen, der oben eine Nadel trägt, um seine Schwankungen auf einer rotirenden Trommel aufzeichnen zu können. —

Nachdem der Cylinder mit Wasser gefüllt und der Arm in ihn hineingebracht ist, schiebt man über den Rand des offenen Endes einen weiten Blechkranz und füllt den freien Raum zwischen ihm und dem erwähnten Kautschukring mit weichem Thon aus. Durch kleinere Lageveränderungen und Verschiebungen des Armes kann man den Druck im Innern des Cylinders beliebig ändern; Fick wählte einen Druck, der etwas geringer, als der atmosphärische war. Damit wird unter Anderem auch ein genauerer Verschluss erzielt, indem der Kautschukring dann wie ein Ventil wirkt. —

Ist alles so geordnet, so kann man aus dreierlei Ursachen Unterschiede in dem Niveaustande des manometerartigen Rohres wahrnehmen: 1. von den Verschiebungen des Armes; diese sind durch ruhiges Halten natürlich leicht zu vermeiden. Der Cylinder wird während des Versuchs horizontal gelegt. 2. von den Volumveränderungen des Arms, welche durch etwaige mit der Zeit wechselnde Blutfülle des Armes bedingt sein können. 3. von den regelmässigen Schwankungen dieser Blutfülle, welche während jedes einzelnen Herzactes vorkommen. Diese letzteren wellenförmigen Schwankungen, welche am Arme einen regelmässigen Dicrotismus, an dem Vorderarme [1]) und besonders an der Hand einen deutlichen Tricrotismus zeigen, sind es, die für das Studium der Blutgeschwindigkeit von Interesse sind.

Das Vorkommen dieser Schwankungen zeigt unzweifelhaft, dass in einem gewissen Moment der Herzthätigkeit, und zwar während der Systole, die mittlere Geschwindigkeit in den Arterien grösser ist als in den Venen. Wäre sie gleich, so müsste natürlich fortwährend ebenso viel Blut vom Arme ab-, als ihm zufliessen.

Diese Wellen, welche ganz denen von Chauveau an der Carotis des Pferdes erhaltenen entsprechen, geben also die Möglichkeit, die zeitlichen Schwankungen der Stromesschnelle genau zu studiren. In dieser Hinsicht sind sie in denselben Fällen mit Vortheil zu verwenden, wie der Lorte't'sche Haemodromograph. In Mes-

---

1) Man kann selbstverständlich in den Blechcylinder beliebig grosse Abschnitte der oberen Extremität hineinbringen.

sungen der absoluten Grösse der Stromschnelle ist dagegen diese Vorrichtung auch dann kaum zu gebrauchen, wenn man sich, nach Fick's Vorgange, nur mit Annäherungswerthen begnügen will [1]).

Wenn die eben beschriebene Vorrichtung den grossen Vorzug besitzt, am unversehrten Thiere, also bei ganz normalen Verhältnissen, Beobachtungen zu gestatten, so bietet ein anderes, unlängst von Ludwig erfundenes Verfahren, die Möglichkeit, solche Geschwindigkeiten unter gewissen veränderten Bedingungen zu bestimmen. Dieses von Slaviansky erprobte Verfahren (eine Verbesserung der früher in demselben Laboratorium von W. Sadler für den Muskelstrom benutzten Methode) verlangte zwar bei seiner ersten Anwendung bedeutende Veränderungen in der Blutcirculation, es lässt sich aber bei Untersuchung der Geschwindigkeit in oberflächlich gelegenen Gefässen mit grossem Nutzen verwerthen.

Diese Methode beruht nämlich darauf, dass die mittlere Stromesgeschwindigkeit des Blutes aus der Menge berechnet wird, welche in einer gegebenen Zeit durch eine Oeffnung eines Blutgefässes ausfliesst. Schon früher hat Vierordt, dem Principe nach, dasselbe Verfahren zu ähnlichen Zwecken eingeschlagen. Um dem Fehler zu entgehen, welcher dadurch entstehen konnte, dass das aus der freien Mündung fliessende Blut mit grösserer Geschwindigkeit strömen müsse, hat Vierordt in das an der Capillarseite abgebundene Gefäss ein Manometer eingebracht, das ihm anzeigte, wann das Ausfliessen sofort zu sistiren sei, was nämlich dann geschehen muss, wenn die Spannung des Blutes einigermaassen von der normalen abzuweichen beginnt. Bei dem Ludwig'schen Verfahren wird das ausströmende Blut in sehr kurzen Intervallen in die Circulation zurückgebracht, und das Ausfliessen selbst geschieht ohne Widerstand in einer im abgeschlossenen Raume befindlichen Kautschukblase, welche unter dem regulirbaren Drucke einer Wassersäule steht.

Durch das Einfliessen des Blutes in diese Blase wird aus dem abgeschlossenen Raume eine entsprechende Menge Wasser entfernt, welche in einem Wassermanometer gemessen werden kann.

§. X. Methoden zur Beobachtung des Pulses. Sphygmographie und Sphygmoskopie.

Während die bisher beschriebenen Vorrichtungen zum hauptsächlichen Zweck hatten, die Druckverhältnisse und die Geschwindigkeiten, mit welchen das Blut im Gefässsystem sich bewegt, der prüfenden Beobachtung zugänglich zu machen, dienen die jetzt zu beschreibenden Vorrichtungen ausschliesslich dazu, die wellenförmige Bewegungen wiederzugeben, welche in den elastischen Gefässen durch jede Herzcontraction erzeugt wird. Wenn man irgend welche Annäherungsschlüsse mittelst dieser Vorrichtungen auch auf den Druck oder etwa gar auf die Stromesschnelle machen will, so darf man dabei nur nicht ausser Acht lassen, dass dies nur insofern gestattet ist, als die Form der wellenförmigen Bewegungen von diesen Grössen überhaupt abhängig sein kann.

Beim Studium jeder wellenförmigen Bewegung kommt es darauf an, die Wellenlänge, die Wellenhöhe und ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu kennen.

---

1) Eine ganz vorzügliche Verbesserung dieses Verfahres ist letztens von Mosso getroffen; siehe Nachtrag zu diesem Capitel.

Die Vorrichtungen, welche die Physiologie besitzt, um die Pulsbewegungen der Arterien zu untersuchen, sind auch auf die Beobachtung dieser drei Eigenschaften der Welle berechnet. Der zeitliche Ablauf der Pulswelle, wie er durch die Form derselben dargestellt werden kann, hängt von vielen Umständen ab. Die Form der Herzcontractionen, die Blutmenge, welche durch jede einzelne Contraction in die Aorta geschleudert wird, die schon bestandene Spannung in der Arterie, der Elasticitätsmodulus derselben wirken bestimmend auf die Form der Welle ein. Bei der Beurtheilung der von Pulszeichnern und Pulsmessern gelieferten Angaben muss also strengstens auf diese Umstände Rücksicht genommen werden.

Der erste bekannte Versuch, die Pulsbewegung von einem Gefässe auf eine Hebelvorrichtung zu übertragen, ist von dem englischen Arzte King im Jahre 1837 gemacht worden, nachdem schon früher im Jahre 1834 Herrisson ein Sphygmometer construirt hatte, bei welchem die Bewegungen des Pulses einer Quecksilbersäule mitgetheilt wurden. Das Quecksilber war in einem umgestülpten metallenen Trichter enthalten, der unten mit einer Kautschukmembran verschlossen war. Eine mit Theilungen versehene Glasröhre, mit welcher dieser Trichter durch eine Hahnvorrichtung an seinem oberen Ende communicirte, diente zur Anzeigung der Excursionen des Quecksilbers. Herrisson hat bei der Beschreibung seines Instrumentes ganz richtig die Verwendungen angedeutet, welche dasselbe bei Beobachtungen des Pulses sowohl in der Physiologie als in der Medicin finden kann. Ganz identische Vorrichtungen haben später auch Chelius unter dem Namen Pulsmesser, und Scott Allisson als Sphygmoskop beschrieben. (Landois meint mit Unrecht, Chelius habe zuerst die trichterförmige Erweiterung diesem Instrumente gegeben; dieselbe befindet sich schon, wie aus der in Lancet 1834 p. 22 beigefügten Zeichnung ersichtlich, an dem von Herrisson construirten Sphygmometer.) Vierordt gebührt aber das Verdienst, zum ersten Mal den Pulsmesser zu einem graphischen Apparate umgestaltet und ihm zugleich eine Einrichtung gegeben zu haben, welche für dessen Verbreitung von entschiedener Bedeutung war. Der von Vierordt construirte Apparat, Sphygmograph genannt, ist auf Taf. XXIII Fig. 3 dargestellt. Der ganze Apparat ist an dem Balken *A* angebracht, der von beiden Seiten auf Stützen ruht, von welchen auf der Zeichnung nur die eine *BB* sichtbar ist. Die Bewegungen des Pulses werden zuerst auf den um die Achse *h* drehbaren Hebel *J* übertragen, und zwar dadurch, dass das Metallplättchen *p* an die Arterie angedrückt wird. Die am Ende des Hebels *J* befindliche Spitze *x* macht die Bewegungen des Plättchens *p* im vergrösserten Massstabe mit. Diese Spitze ist an dem Hebel durch eine verschiebbare Hülse angebracht.

Das Rähmchen *s* (von der Form des Watt'schen Parallelogramms), welches diese Spitze *x* auch mit dem zweiten Hebel *J'* verbindet, dient, ebenso wie dieser letztere, den Bewegungen der Spitze eine möglichst lothrechte Richtung zu geben. Zu diesem Behufe sind die beiden Hebel ausserdem um die im Rahmen *s* ruhende Achse *rr'* drehbar. Befindet sich vor der Spitze ein rotirender Cylinder mit berusster Fläche, so schreibt sie auf derselben in verticaler Richtung die Bewegungen des Hebels auf. *M* und *L* sind zur Aufnahme von Gewichten bestimmte Schalchen, welche dazu dienen, die Schwere der ganzen schwebenden Vorrichtung zu contrebalanciren.

(Die Schale *M* lässt sich vom Hebel *J* nach Belieben ganz entfernen).

Die gabelförmigen Achsenträger *E* und *U* gestatten die Länge der Arme der beiden Hebel beliebig zu ändern. Durch verschiedene Entfernung des Plättchens *p* von dem Drehpunkte *h* kann man die ihm von der Arterienwand mitgetheilte Bewegung in beliebiger Vergrösserung auf die Feder *x* übertragen. Das Instrument wird auf der vorderen Fläche des horizontal gelagerten Vorderarmes applicirt, indem man die Art. radialis aufsucht und auf derselben das Plättchen *p* auflegt. Drückt man das Plättchen an die Haut der betreffenden Stelle an, so wird dieser Druck der oberen Gefässwand mitgetheilt. Bei jeder Pulswelle, welche die Arteterie erweitert, wird das Plättchen und mit ihm der Hebel *J* in die Höhe gehoben; hört diese Erweiterung auf, so sinkt der Hebel der Schwere folgend wieder herunter und drückt von Neuem das Gefäss zusammen.

Man kann den auf die Arterie auszuübenden Druck beliebig variiren, indem man die Schale *M* mit verschiedenen Gewichten belastet.

Bei der Beurtheilung der Leistung des Sphygmographen kann man im Allgemeinen von denselben Principen ausgehen, wie beim Manometer. Wir haben auch hier periodisch eintretende Schwankungen der bewegenden Kraft, eine durch dieselbe in Bewegung gesetzte Masse, Kräfte, welche diese Masse stets in der Gleichgewichtslage zurückzuhalten suchen, und endlich Widerstände, welche der Bewegung der Masse sich entgegenstellen. Die oben bei der Theorie des Manometers gegebene Auseinandersetzung findet also auch hier ihre volle Anwendung. Auch ein Pulsverzeichner wird um so richtigere Angaben liefern, je geringer die durch die Arterienerweiterung in Bewegung gesetzte Masse und je grösser die Widerstände sind, welche den Bewegungen dieser Masse durch die Kräfte entgegengestellt werden, die sie im Gleichgewicht zu erhalten streben. Wir haben aber gesehen (§ V), dass Mach durch seine theoretische Auseinandersetzung zu dem Schlusse gelangt ist: „so muss man sich dafür entscheiden, mit möglichst grossem *p* [1]) und mit möglichst geringem Widerstande zu construiren. Es muss demnach widersprochen werden, wenn Fick bei Besprechung des Vierordt'schen Sphygmographen zu dem Resultate gelangt, das Instrument müsse möglichst masselos und mit so grossen Widerständen construirt werden, als es nur überhaupt angeht. Das Erstere ist gewiss richtig, nicht so das Letztere."

Wir haben schon oben bei Gelegenheit auseinandergesetzt, dass dieser Widerspruch zwischen Fick und Mach nur ein scheinbarer ist, da Mach unter Widerständen lediglich die der Geschwindigkeit proportionalen versteht, während Fick zu den Widerständen mit Recht auch die von Mach durch *p* bezeichnete Grösse zählt, nämlich die Kräfte, welche die schwingende Masse im Gleichgewicht zu erhalten suchen. Es ist daher dort vorgeschlagen worden, um Missverständnisse zu vermeiden, diese Grösse *p* durch „Nebenwiderstände" zu bezeichnen, da man sonst sich verleiten lassen könnte, durch Vergrösserung der schwingenden Masse die Gleichgewichtskräfte erhöhen zu wollen.

Beurtheilen wir die Leistungsfähigkeit des Vierordt'schen Sphygmographen nach diesen Principien, so finden wir: 1. dass die schwingende Masse und somit

---

1) S. oben.

der der Geschwindigkeit proportionale Widerstand (Mach) bei ihm bedeutend sind, und 2. dass der Nebenwiderstand oder die Kräfte, welche die schwingende Masse im Gleichgewichtszustande zu erhalten suchen, verschwindend klein sind; denn durch die Gegengewichte ist sogar die Wirkung der Schwere verringert.

Man sieht also, dass in diesem Instrument alle Bedingungen vorhanden sind, um seine Angaben durch die Eigenschwingungen der Masse beträchtlich beeinflussen zu lassen. In der That weichen auch die von Vierordt erhaltenen Pulscurven bedeutend von denen ab, welche wir jetzt mit zuverlässigeren Sphygmographen erhalten. Landois (die Lehre von dem Arterienpulse pag. 41) glaubte, die von Fick, Marey und Naumann gegen das Vierordt'sche Instrument gemachten Einwände entkräften zu können, indem er den bis jetzt entwickelten Grundsätzen zuwider behauptet, der Fehler dieses Sphymographen bestehe eben in der viel zu geringen Belastung. Dies ist jedoch nicht ganz richtig. Die von Vierordt (die Lehre vom Arterienpuls pag. 33) mit stärkerer Belastung erhaltenen Curven sind wirklich den normalen um ein Geringes ähnlicher, als die bei geringer Belastung gewonnenen. Daraus folgt aber nicht, dass durch die verstärkte Belastung die Nebenwiderstände (Gleichgewichtskräfte Mach's) zu vermehren, das zweckmässigste Verfahren sei. Es wäre demnach verfehlt, diese Grösse p durch Gewichtszunahme der schwingenden Masse vergrössern zu wollen, und hatte in dieser Hinsicht Vierordt theilweise Recht, wenn er die so gewonnenen Curven als unrichtige erklärte. Denn es war reiner Zufall, dass bei der Verstärkung der Belastung der Vortheil, welcher durch die Zunahme der Gleichgewichtskräfte entstand, den Nachtheil übercompensirt hat, der durch die Gewichtszunahme der schwingenden Masse veranlasst worden war. Diese Curven würden viel genauer die wirklichen Pulsbewegungen wiedergegeben haben, wenn Vierordt die Nebenwiderstände (Gleichgewichtskräfte) vermehrt hätte, ohne dabei die schwingende Masse zu vergrössern.

Durch das Gesagte soll selbstverständlich das grosse Verdienst von Vierordt um die Sphygmographie nicht im Mindesten geschmälert werden. Die Verbesserungen, welche eine mechanische Vorrichtung mit der Zeit erfährt, sind ja das beste Zeugniss für die Fruchtbarkeit des ihr zu Grunde gelegten Princips.

Die nächste Verbesserung des Sphygmographen, die aus ganz richtigem Verständnisse der theoretischen Erfordernisse entsprungen, ist von Berti getroffen worden. Derselbe verkleinerte beträchtlich das Gewicht der schwingenden Hebel und führte gleichzeitig einen abstufbaren Widerstand für die oscillatorischen Schwingungen des zum Auflegen auf die Arterie bestimmten Plättchens ein. In richtiger Würdigung der praktischen Vortheile, welche der Sphygmograph für Aerzte bieten kann, hat Berti auch dessen Applicationsweise vereinfacht und erleichtert. So kann z. B. sein Sphygmograph unbeweglich auf dem Arme durch ein Armband von Gummi oder dehnbarem Seidenzeug befestigt werden.

Der grösste Fortschritt in der Construction des Sphygmographen ist seit Vierordt jedoch erst von Marey erzielt worden. Wenn auch sein erstes Instrument später manche Modificationen und Verbesserungen erlitten hat, so ist doch das Grundprincip in seiner Construction immer beibehalten worden, durch das die Hauptbedingungen erfüllt wurden, welche den Sphygmographen zu einem präcisen Registrirungsapparate gestalteten. Die Vorzüge seines Instrumentes bestehen darin: 1) dass in ihm das Gewicht der schwingenden Masse auf ein Mini-

mum reducirt ist; 2) dass zur Compression der Arterienwand nicht Gewichte, sondern die Spannung einer Feder verwendet wird; 3) dass das compendiöse Uhrwerk mit Papierträger an dem Sphygmographen selbst befestigt ist. Bei der Einführung der spannenden Feder hat Marey zuerst nur das Vermeiden von Gewichten zur Ausführung eines Druckes auf die Gefässwand im Auge gehabt. Die spannende Feder hat aber ausserdem für die grosse Präcision des Instruments noch den sehr bedeutenden Vortheil, dass sie gleichzeitig die Nebenwiderstände (die Grösse p von Mach) für die Schwingungen des Hebels im hohen Grade vergrössert, ohne die schwingende Masse erheblich zu vermehren. Je härter die Feder, je grösser also ihr Elasticitätsmodulus, desto bedeutender werden auch die Kräfte sein, welche den schwingenden Hebel im Gleichgewicht zu erhalten streben. Dagegen ist in dem Marey'schen Sphygmographen der Widerstand, welcher der Geschwindigkeit proportional ist, den theoretischen Anforderungen gemäss sehr klein, da die geringe Masse des Hebels demselben nur kleine Geschwindigkeiten zu erlangen gestattet. Die nähere Einrichtung des Marey'schen Sphygmographen in seiner ursprünglichen Gestalt ist auf der Fig. 1 und 2 Taf. XI und Fig. 1 Taf. XXIII dargestellt. Die den Elfenbeinknopf F tragende Stahlfeder (Fig. 1) dient zur Compression der Arterienwand. Die kleinen Bewegungen, welche durch die Drehung der Gefässwand dem Knöpfchen mitgetheilt werden, werden im vergrösserten Maassstabe auf den leichten, aus Holz und Aluminium verfertigten Hebel übertragen, der in C' seinen Drehpunkt hat. Wie man sieht, befindet sich dieser Drehpunkt sehr nahe dem Angriffspunkte der Kraft; dadurch werden natürlich die Bewegungen des Knopfes F am ausgiebigsten vergrössert. Die Uebertragung der Bewegung von dem Knopf auf den Hebel geschieht durch ein Messingplättchen BE', das um den Punct E' beweglich ist und von der Schraube $T'N$ in verticaler Richtung durchbohrt wird. Dreht man die Schraube so tief herunter, dass sie den Knopf F berührt, so wird dadurch jede Bewegung dieses letzteren auch der Schraube $T'N$ und der Platte BE' mitgetheilt. Diese letztere ist aber durch den Fortsatz D' in den Stand gesetzt, die ihr mitgetheilte Bewegung dem Hebel zu übergeben. Je nach der tieferen oder oberflächlicheren Lage der Arterie wird durch Drehung der Schraube $T'N$ die Lage des Fortsatzes D' so geändert, dass die Excursionen des Hebels weder zu klein noch zu gross ausfallen können. Die Schraube P' dient dazu, um die Feder zu fixiren. QR ist die eine Seite des Rahmens, welcher das ganze Instrument in der auf Fig. 2 sichtbaren Weise umschliesst. LD (Fig. 2) ist der Rahmen, welcher den Streifen glasirten Papiers trägt, er wird durch das Uhrwerk in Bewegung gesetzt. F dient zum Aufziehen der Uhr, der Stift bei C zum Anhalten ihrer Bewegung; a ist die gebogene Spitze der Feder, welche mit gewöhnlicher Tinte gefüllt wird. Der Rahmen LD, welcher das Papier trägt, braucht 10 Secunden, um vor der Feder ganz vorbeigeführt zu werden. Der ganze Apparat wird auf dem in horizontale Richtung gebrachten Arm durch ein Band in der auf der Zeichnung angegebenen Weise befestigt.

Der so eingerichtete Marey'sche Sphygmograph hat den einen Nachtheil, dass der Punkt a sich in einem Kreisbogen bewegt; seine Excursionen können daher auch nicht auf eine rotirende Trommel aufgezeichnet werden. Die genaue Verwerthung der Curve bietet auch einige Schwierigkeiten, welche jedoch durch die grosse Länge des Hebels bedeutend verringert werden.

Man kann die kreisförmige Curve, wenn man den Puls längere Zeit beobachten will, auf der früher beschriebenen Ludwig'schen Kymographion-Vorrrichtung mit unendlichem Papierstreifen aufzeichnen lassen, da auch bei ihm das Papier sich in verticaler Ebene bewegt. (Wir haben schon oben bemerkt, dass dieses Kymographion auch verwendet werden kann, um die von dem Fick'schen Federmanometer durch Wegschaffung des Hebelwerkes gezeichnete ebenfalls kreisförmige Curve aufzunehmen.)

Die ersten Veränderungen an dem Marey'schen Sphygmographen sind von Mach vorgeschlagen worden. Die eine derselben war ganz unwesentlich, sie bestand hauptsächlich in einer directen Verbindung des spitzen Fortsatzes *D* mit dem Schreibhebel. Wichtiger war die zweite Veränderung, die als eine wirkliche Verbesserung aufgefasst werden muss. Mach liess den Messingbalken *BE* ganz weg und verband den Knopf *F* (Fig. 1 Taf. XI) durch ein Charniergelenk mit einer verticalen Stange, deren oberes Ende ebenfalls durch eine Gelenkverbindung an den Schreibhebel befestigt war. Dadurch ist nicht nur die schwingende Masse um ein Geringes vermindert worden, sondern, was wichtiger ist, durch Herstellung einer directen Verbindung des Knopfes mit dem Schreibhebel sind etwaige Eigenschwingungen dieses letzteren, die unabhängig von denen dieses Knopfes wären, ganz unmöglich gemacht worden. Die früher bestandene blosse Berührung von *D* mit dem Hebel liess in gewissen Fällen ganz unabhängige Schwingungen von dem Pulshebel zu. Der Mach'sche Sphygmograph ist auf Taf. XI Fig. 4 (*G*) dargestellt. Die auf derselben Tafel befindliche Fig. 6 dient dazu, die hier beschriebene Veränderung deutlicher zu versinnlichen und gleichzeitig die bei ihr angebrachte Schraubenvorrichtung zu demonstriren, welche dazu dient, um den Druck des Knopfes auf die Arterienwand beliebig abstufen zu können. Der Mach'sche Sphygmograph hat den kleinen Nachtheil, dass sein Schreibhebel kurz ist, daher der kreisförmige Charakter der Curve deutlicher ausgedrückt wird, als an den Marey'schen Curven. Ausserdem zeichnet die Spitze dieses Hebels auf einer berussten Tafel, was für das Aufbewahren der Curven unbequem ist. Diese Nachtheile lassen sich übrigens bei der Construction leicht umgehen.

Noch eingreifender ist die Verbesserung, welche Béhier an dem Marey'schen Sphygmographen angebracht hat und die von Marey bei der Construction seiner neuesten Apparate auch adoptirt worden ist. Auch Béhier hat den Messingbalken ganz weggelassen. Die Schraube *TN* ist bei ihm durch ein Charniergelenk mit dem Knopfe *F* verbunden, und, was noch wesentlicher ist, die Art, wie diese Schraube ihre Bewegungen dem Füllhebel übergiebt, ist hier wesentlich verbessert worden. Die Achse, um welche dieser Hebel sich bewegt, trägt in ihrer Verlängerung ein kleines Zahnrad, in welches das Gewinde der Schraube hineinpasst. Jede Bewegung der Schraube in verticaler Richtung bewirkt natürlich eine Drehung dieses Zahnrades nebst Achse, also auch des mit ihr verbundenen Schreibhebels. Der Hebel wird dadurch gezwungen, mit grosser Genauigkeit den Bewegungen des Knopfes nachzufolgen. Das Charniergelenk, welches die Schraube mit diesem Knopfe verbindet, gestattet leicht die Verbindung der Schraube mit dem Zahnrad durch Umklappen der ersteren zu lösen. Dies hat zwei wesentliche Vortheile: 1) erlaubt es während des Anpassens und Anlegens des Knopfes an die Arterie den Hebel ganz ausser Verbindung mit dem Knopfe zu setzen, und 2) kann man

durch Anlegung verschiedener Theile an das Zahnrad auf die einfachste Weise den Druck des Knopfes auf die Arterie reguliren. Durch eine kleine am Charniergelenk angebrachte Feder wird diese Schraube an das Zahnrad angedrückt. Die Fig. 3 auf Taf. XI zeigt die Verbindungsweise der Schraube mit dem Rade. (Auch Garrod hat später eine ähnliche Veränderung am Marey'schen Sphygmographen angebracht.)

Auf Fig. 1 Taf. XXIII ist der Marey'sche Sphygmograph in der neuesten von Marey gegebenen Einrichtung dargestellt; nach der vorausgeschickten Beschreibung bedarf diese Zeichnung wohl keiner besondern Erklärung.

Zu erwähnen ist noch eine besondere Vorrichtung am Béhier'schen Sphygmographen, welche es gestattet, an einer Scala den von der Feder auf die Gefässwand ausgeübten Druck abzulesen.

Denselben Zweck verfolgt auch eine von B. T. Foster dem Sphygmographen gegebene Einrichtung. Bei letzterer wird der Druck angezeigt durch einen auf einer Scheibe sich bewegenden Zeiger, die an der Schraube des älteren Marey'schen Sphygmographen angebracht ist, während Béhier dasselbe erreicht durch eine analoge, aber an der Feder selbst angebrachte Vorrichtung.[1])

Backer und Burdon-Sanderson messen diesen Druck durch Anbringung von Gewichten. Solche Vorrichtungen sind insofern von Nutzen, als sie bei der Application des Sphygmographen einen Druck von bekannter Grösse anzuwenden gestatten und auch den Druck bestimmen lassen, welcher erforderlich ist, um die Wände der Arterie vollständig zusammenzudrücken; da die Grösse des hier anzuwendenden Druckes in directer Abhängigkeit von der Höhe des Blutdruckes und der Stärke der Herzcontraction steht, so erlauben in gewissen Fällen solche Messungen Annäherungsschlüsse über diese beiden Grössen zu ziehen.

Alle bisher beschriebenen und angedeuteten Veränderungen des Marey'schen Sphygmographen beschränken sich, wie wir gesehen haben, auf technische Verbesserungen. Das Princip desselben, dem er eben seinen Werth verdankt, ist nicht verändert worden.[2])

Anders ist es mit einigen Vorrichtungen, die jetzt kurz aufgezählt werden sollen. Longuet construirte einen Sphygmographen, dessen Grundidee die folgende ist: Eine kleine auf die Arterie aufgelegte Pelote theilt die Pulsschwankungen einem leichten verticalstehenden Stäbchen mit, das durch eine Feder an die Pelotte angedrückt ist und in einen ebenfalls verticalstehenden Fiedelbogen ausläuft, dessen Schnur in die Rinne einer kleinen, um eine horizontale Achse drehbaren Rolle hineinpasst. Jede Bewegung des Fiedelbogens erzeugt eine Drehung dieser Rolle,

1) Auch die unbewegliche Befestigungsweise des Béhier'schen Sphygmographen hat gewisse Vorzüge, die zu berücksichtigen sind.

2) Unlängst hat Brondgeest unter dem Namen Pansphygmograph ein Instrument beschrieben, welches sowohl für die Untersuchung des Pulses verschiedener Arterien als auch anderer Bewegungen (Herzstoss etc.) mit Vortheil benutzt werden kann. Soviel aus der mir von dem Autor freundlichst zugesendeten Abbildung nebst Beschreibung ersichtlich, ist das Princip desselben dem des Sanderson'schen Cardiographen (in sehr verkleinertem Maassstabe) analog. Durch eine sinnreiche Construction der Trommelvorrichtung und besondere Anordnung des ganzen Apparates ist derselbe sehr compendiös und wohlfeil herzustellen; er eignet sich daher sehr gut für Aerzte u. A.

mit welcher noch eine viel grössere um dieselbe Achse drehbare Rolle verbunden ist. Eine leichte, auf der Peripherie dieser grösseren Rolle befestigte Schreibfeder verzeichnet die Bewegungen derselben auf einem vorbeistreifenden Papier. Ein Stift am unteren Ende des Fiedelbogens zeigt auf einer Scala den Druck an, den die Pelotte auf das Gefäss ausübt. Die Pelotte selbst wird durch zwei Klötzchen auf den Arm angedrückt und berührt die Haut über der Arterie nur mit einem kleinen Theile. Alle von Longuet seiner Vorrichtung angerechneten Vortheile lassen sich mit der Béhier'schen Modification des Marey'schen Sphygmographen auf viel leichtere und bequemere Weise erzielen. Die von Longuet erhaltenen Curven unterscheiden sich daher durch Nichts von denen Marey's. —

Valentin hat den Vorschlag gemacht, die Bewegungen der Arterie auf einen kleinen Schreibehebel zu übertragen, der nur in wagerechter Richtung sich bewegen kann und seine Zeichnungen also auf einen Cylinder macht, der sich um eine horizontale Achse dreht. Dadurch soll der Einfluss der Schwere und somit der der Eigenschwingungen ausgeschlossen werden. Die kleinen Excursionen der Arterie sollen dabei nicht durch lange Hebel vergrössert, sondern durch Vergrösserungsgläser der Beobachtung zugänglich gemacht werden. In seiner Schrift hat auch Valentin eine schematisch gehaltene Zeichnung einer ähnlichen Einrichtung gegeben, in welcher der Schreibhebel sich in den Furchen kleiner Rollen bewegt. Ueber die mögliche Verwerthbarkeit solcher Einrichtungen für Pulsmessungen lässt sich natürlich jetzt noch nichts sagen, da Valentin diese Hebel, wie es scheint, bisher nur zu Aufzeichnungen von Muskelcurven benutzt hat.

Landois hat einen Angiographen construirt, der in der sphygmographischen Technik kaum als ein Fortschritt bezeichnet werden dürfte. Wir haben schon oben gesehen, dass Landois dem Vierordt'schen Sphygmographen den Vorwurf zu geringer Belastung macht, haben dort auch den Grund dieses Vorwurfs kennen gelernt. Von dieser Ansicht ausgehend, hat er in seinem Angiographen die spannende Feder des Marey'schen Sphygmographen durch Gewichte ersetzt. Dieser Apparat ist auf Taf. XXIII Fig. 2 schematisch abgebildet. Der Rahmen *gg* besitzt zwei Zapfen, welche eine Achse für den Hebel *zd* haben. Der lange Arm dieses Hebels trägt an seiner Spitze einen Knopf *c*, der kurze Arm trägt das Gegengewicht *z*. Bei *d* ist an dem langen Arme eine Béhier'sche Schraubenvorrichtung angebracht, die ganz auf dieselbe Weise in ein Zahnrad eingreift, wie in dem Marey'schen Sphygmographen. Um die Achse dieses Rades bewegt sich ein langer Hebel *ie*, der eine im Charniergelenk bewegliche und auf der Platte *t* zeichnende Nadel *k* trägt. Der Hebel *dz* besitzt ausserdem noch einen anderen Fortsatz, welcher mit der Schaale *Q* zur Aufnahme von Gewichten endet Wie man aus der Beschreibung sieht, ist dieser Angiograph nichts weiter als der mit der Béhier'schen Schraubenvorrichtung versehene Sphygmograph von Vierordt, nur in kleinerem Maassstabe. Er theilt demnach alle Mängel des Vierordt'schen Apparates und ist ebenso wenig geeignet, richtige Pulscurven zu liefern. Die Einführung der Gewichte statt der Marey'schen Feder ist umsomehr als ein Nachtheil zu betrachten, als der von Landois gerühmte Vortheil, sein Angiograph gebe dadurch die Möglichkeit, den auf die Arterien ausgeübten Druck zu messen, mit den Foster'schen und Béhier'schen Einrichtungen ebenso gut erzielt werden kann.

Um die Reihe der zum Studium des Pulses verwendbaren ernsten Einrichtungen abzuschliessen, müssen wir noch einige Vorrichtungen erwähnen. O. Naumann hat den Herrisson'schen Sphygmometer zu einem schreibenden Apparate umgestaltet und ihm mit Unrecht den Namen Haemodynamometer beigelegt. Er ertheilte dem Herrisson'schen Instrumente zwei Verbindungen, die eine mit einer Seitenröhre, die mittelst einer Hahnvorrichtung mit einem Trichter endete, die andere Verbindung lief in ein Stäbchen aus, das die Schwankungen des Flüssigkeitsniveaus auf einer Trommel aufzeichnete. Die Seitenröhre mit Hahnverschluss dient, um die Spannung der auf den Arterien ruhenden Membran reguliren zu können. Der ganze Apparat ist mit Wasser gefüllt. Die Pulscurven, welche man mit dieser Einrichtung erhält, geben, wie die sorgfältigen Naumann'schen Untersuchungen zeigen, die in der Arterie vorkommenden Druckschwankungen ziemlich getreu wieder. So ist z. B. an ihnen der Dicrotismus des Pulses ganz deutlich ausgeprägt. Dies darf nun um so weniger überraschen, als ja schon Chelius bei Benutzung des ursprünglichen Herrisson'schen Instrumentes solchen Dicrotismus beobachtet hat.

Das von Chauveau und von Marey construirte Sphygmoskop, welches auf Taf. XXII Fig. 4 abgebildet ist, kann dazu benutzt werden, über die Form der pulsatorischen Blutdruckschwankungen Aufschluss zu geben.[1]) Es besteht aus einer Kautschukampulle, welche luftdicht in den Glascylinder *b* eingeschlossen ist; durch die Röhre *d* communicirt dieser Cylinder mit der Lufttrommel von Marey; die Ampulle wird mit doppelkohlensaurem Natron gefüllt und durch eine mit einem Hahn versehene Kautschukröhre mit den in der Arterie eingebundenen Canüle verbunden. Die Schwankungen der Luftdichte im Glascylinder, welche durch Volumveränderung der Ampulle bei jeder Herzcontraction entstehen, werden auf einem rotirenden Cylinder durch die Feder *f* der Lufttrommel *e* verzeichnet. Wenn die Ampulle aus wenig dehnbarem Kautschuk besteht, lassen sich mit diesem Sphygmoskop ziemlich genaue Bilder der Druckschwankungen in den Arterien erhalten.

Ebenfalls zweckmässig für solche Untersuchungen wäre vielleicht die mehrmals erwähnte Ludwig'sche Canüle für Messung des Seitendrucks (Taf. III Fig. 3 und 4) mit einer kleinen Kautschukmembran von geringer Dehnbarkeit zu verschliessen und dann mit einer Lufttrommel zu verbinden.[2]) Die geringe Masse der stark gespannten schwingenden Membran würde für eine getreue Wiedergabe der Form der Blutdruckschwankungen sehr förderlich sein.

Ausser den bisher beschriebenen Vorrichtungen, die Pulsbewegungen wiederzugeben, sind in letzterer Zeit noch einige beschrieben worden, welche jedoch bis jetzt mehr den Charakter sinnreicher Spielereien, als wirklich brauchbarer Untersuchungsmethoden bewahrt haben. Ich werde einige hier berücksichtigen, die

1) Die übrigen in dieser Fig. abgebildeten Theile gehören zu der bereits beschriebenen Lortet'schen Vorrichtung.

2) Unlängst hat Fick einen auf diesem Princip beruhenden Manometer construirt, in welchem die Bewegung der statt Ampulle gebrauchten Kautschukmembran auf eine gespannte Feder übertragen wird. Die Angaben dieses Manometers sollen, wie mir aus einer mündlichen Mittheilung des Prof. Fick bekannt ist, sehr genau die Druckschwankungen in den Blutgefässen wiedergeben.

für demonstrative Zwecke vor einem grösseren Zuhörerkreis mit Vortheil dienen können. Czermak hat sich besonders fleissig mit Erschaffung solcher Untersuchungsmethoden beschäftigt und mehrere derselben in seinen Mittheilungen aus dem Prager Privatlaboratorium niedergelegt. Sein Hauptzweck war, die Mängel zu beseitigen, mit welchen alle bis dahin verwendeten Methoden zur Pulszeichnung behaftet waren — Mängel, die durch die Eigenschwingungen der bewegten Massen sogar bei dem leichten Füllhebel des Marey'schen Sphygmographen nicht ganz vermieden werden. Czermak suchte daher für die Wiedergabe von Pulsbewegungen sich Füllhebel zu verschaffen, welche gewichtlos wären, keine Reibung gäben und, ohne die pulsirende Arterie zu verändern, die Pulsbewegungen zu verzeichnen im Stande wären. In den Lichtstrahlen glaubte er solche Füllhebel gefunden zu haben und schlägt nun vor, entweder die Lichtreflexe, die bei directer Sonnenbeleuchtung leicht von pulsirenden Oberflächen zu erhalten sein sollen, oder auch „die Bewegungen eines Punktes des vergrösserten Schattenrisses der pulsirenden Theile photographisch aufzeichnen zu lassen." Die Collodiumplatte soll dabei durch ein Uhrwerk vor den Lichtstrahlen vorbei geführt werden. Bis jetzt sind, soviel mir bekannt, noch von Niemandem auf diese Weise Pulscurven erhalten worden. Es bleibt auch fraglich, ob dies möglich wäre. Jedenfalls könnten Versuche dieser Art nur an blossgelegten Arterien, also nur bei Thieren angestellt werden. (Das schon längst von Valentin, Fischer und in letzter Zeit von Ozanam und Anderen versuchte Photographiren der Oscillationen des Quecksilbers in dem mit der Arterie verbundenen Manometer oder in dem Herrisson'schen Sphygmometer hat natürlich mit den Czermak'schen Versuchen nichts gemeinschaftlich, da dabei die Bewegungen schwerer Massen nicht ausgeschlossen sind.)

Von allen Czermak'schen Vorschlägen ist doch wohl sein Pulsspiegel als der einzig praktische Erwerb zu bezeichnen, der sich sehr eignet, den Dicrotismus des Pulses in einem grösseren Zuhörerraume zu demonstriren. Als solcher Pulsspiegel kann jeder beliebige kleine Planspiegel benutzt werden, der an der Haut oberhalb der Arterie angelegt wird und den Bewegungen derselben folgt. Wirft man auf dieses Spiegelchen direct oder durch einen Beleuchtungsspiegel Lichtstrahlen der Sonne oder einer künstlichen Lichtquelle, so werden die auf der Wand oder auf einem Schirm aufgefangenen Reflexe dieser Strahlen alle die Bewegungen im vergrösserten Maassstabe wiedergeben, welche von der Arterie dem Spiegel mitgetheilt werden. Man befestigt das Spiegelchen mit den Fingern oder durch ein Paar Kautschukringe. (Czermak giebt auch eine besondere Befestigungsvorrichtung an, die im Original nachzusehen ist.)

Die Verwendbarkeit dieses Pulsspiegels, sowie der übrigen von Czermak (l. c) in Vorschlag gebrachten Vorrichtungen zur Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulsbewegung darf wohl in Zweifel gezogen werden.

Landois hat ein Gas-Sphygmoskop beschrieben, welches, besonders in der ihm später von Klemenziewicz gegebenen Einrichtung, für Demonstrativzwecke seine Verwendung finden könnte. Dieses Sphygmoskop besteht in einer Rinne aus Glas oder Hartgummi, welche tunnelartig dem Verlaufe der Art. radialis entlang aufgelegt wird. Leitet man durch den auf diese Weise gebildeten und luftdicht geschlossenen Kanal einen Strom von Leuchtgas, das man bei seinem Austreten durch die enge Oeffnung einer Glasröhre anzündet, so nimmt man an der Flamme

Oscillationen wahr, welche von den Verdichtungen des Gases im Tunnel durch die Ausdehnungen der Arterie verursacht werden. Diese Oscillationen zeigen auch einen Dicrotismus und können ausserdem hörbar gemacht werden, wenn man nach Klemenziewicz's Vorgange über die Flamme eine längere Glasröhre umstülpt und so die Gasflamme zum Tönen bringt.

Ganz vor Kurzem hat Landois unter der Bezeichnung Haematographie eine Methode der Pulsbeobachtung beschrieben, von welcher er sich ganz besonders wichtige Aufschlüsse „über die Wellenbewegung und Strombewegung des Blutes innerhalb der Schlagadern" verspricht. Dieses Verfahren besteht darin, dass man senkrecht auf den aus einer Arterie ausfliessenden Blutstrahl einen Bogen weissen Papiers mit gleichmässiger Geschwindigkeit vorbeiführt, auf welchen der Strahl seine Bewegungen aufspritzt. Die systolischen Verstärkungen dieses Strahls treten dabei, wie aus den (l. c.) beigelegten Curven ersichtlich, sogar mit der dicrotischen Elevation hervor. Landois benutzte dieses Verfahren auch zur Bestimmung der Menge des während der Systole und Diastole ausfliessenden Blutes; in wie weit letzteres zulässig sei, werden erst die in Aussicht gestellten Mittheilungen ergeben.

Sämmtliche in letzter Zeit in Anwendung gekommene Methoden des Pulszeichnens haben das übereinstimmende Ergebniss geliefert, dass die di- und tricrotischen Schwankungen, welche besonders von dem Marey'schen Sphymographen in den Pulswellen zu Tage gefördert worden, nicht etwa durch Unzulänglichkeit dieses Instrumentes entstandene Kunstproducte, sondern der Ausdruck der wirklichen Eigenthümlichkeiten der in der Gefässwand vor sich gehenden Bewegungen seien. Die theoretische Discussion des Marey'schen Wellenzeichners von Mach, sowie die experimentelle Prüfung, welcher das Instrument von Mach, Fick, v. Wittich, Landois und Andern unterworfen wurde, haben ergeben, dass, soweit man überhaupt eine genaue Wiedergabe von periodischen Bewegungen durch schwingende Massen erzielen kann, dies durch ihn wirklich erreicht wird. Es bleibt uns nur noch übrig, einige Worte hinzuzufügen über die Bedeutung, welche man den mit Pulszeichnern erhaltenen Curven geben kann.

Der Sphygmograph vermag absolute Werthe nur über die Zahl der Herzschläge zu liefern. Ueber Stärke der Druckwankungen, der Herzcontractionen u. s. w. haben seine Angaben nur einen relativen Werth. Ueber die Form der Herzcontraction, über die zeitlichen Verhältnisse der einzelnen Momente dieser Function, über andere wellenförmige Bewegungen, welche im Gefässsystem etwa vorkommen können, sind die Angaben des Sphygmographen ganz zuverlässig; in diesen Angaben ist auch sein Hauptnutzen zu suchen. Die Spannung in den Arterien kann zwar, nach Foster's und A. Vorgange, durch die zum Zusammendrücken des Gefässes nothwendige Belastung oder Spannung der Feder annähernd ermittelt werden — es ist aber sehr fraglich, ob solche Messungen mehr Werth besitzen, als die, welche durch einfaches Zusammendrücken der Arterie mit den Fingern erhalten werden können.

Es scheint im Gegentheil, dass man bei der letzteren Untersuchungsweise sich viel eher wird Rechenschaft geben können, ob der beim Zusammendrücken der Arterie zu überwindende Widerstand von der Rigidität der Gefässwand oder von

letzterm Eindrucke abhängig ist. Eine Discussion der verschiedenen mittelst des Sphygmographen erhaltenen Pulscurven gehört selbstverständlich nicht hierher.

§ XI. Versuche über die Herzganglien.

Die Herzganglien — bekanntlich zuerst von R. Remak am Kalbherzen entdeckt — sind später Gegenstand sehr zahlreicher anatomischer Untersuchungen geworden, besonders von Seiten Ludwig's und Bidder's.

Das Hauptobject für solche Untersuchungen hat bis jetzt das Froschherz abgegeben, hauptsächlich weil nur das Froschherz getrennt vom übrigen Körper Gegenstand erfolgreicher experimenteller Forschung werden konnte.

Die überaus grösste Zahl der Ganglien des Froschherzens befindet sich an der Ausbreitung der Vagusfasern in der Herzwand. Dieser bis jetzt einzig bekannte Nerv des Froschherzens tritt, zuerst an der Wand der V. cava inferior verlaufend, in den Sinus venosus, wo er mit zahlreichen Ganglienzellen besetzte Zweigelchen abgehen lässt. Sodann begeben sich die beiden Vagi zur Scheidewand zwischen den Vorhöfen, wo sie einen mit zahlreichen Ganglienzellen durchsetzten Plexus bilden. Zwei Zweigelchen dieses Plexus begeben sich zur Atrioventricular-grenze, in deren Nähe jedes von ihnen mit einem Ganglienhaufen (den Bidder'schen) endet, aus welchen zahlreiche Fasern zu den Muskelfasern der Ventrikelwand sich begeben. Zur Beobachtung der zahlreichen Ganglien, welche die Zweigelchen der Vagi begleiten, bedient man sich mit Vortheil eines mit einer Leimlösung injicirten und auf die bereits angegebene Weise erhärteten Herzens. Trägt man dann an letzterem mit einem Rasirmesser, am linken Vorhof beginnend, einzelne Stücke von links nach rechts zu schichtweise ab, so gelangt man zu dem durch sein schimmerndes Aussehen leicht erkenntlichen Septum Atriorum. Schneidet man es ganz heraus und spannt es auf ein Objectglas, so kann man das auf Taf. XXIV Fig. 4 dargestellte Bild der Ausbreitung der Vaguszweige sowie ihrer Ganglien leicht sehen.

Die Versuche, die man mit diesen Ganglien anstellen kann, bestehen hauptsächlich in Abbindungen, Abschneidungen und Reizungen einzelner Herzpartien, in denen sie gelagert sind. Die ersten Versuche dieser Art, obwohl von Stannius und Rosenberg gleichzeitig angestellt, sind unter dem Namen des Ersteren bekannt; ihre jetzige Ausführungsweise unterscheidet sich sehr wenig von derjenigen, welche ursprünglich von Stannius angegeben worden ist. Nur sind durch die Einführung des Manometers beim Studium des Froschherzens die Stannius'schen Versuche insoweit vervollkommnet worden, dass man über die Reactionen des Herzens viel genauere und exactere Aufschlüsse erhält.

Der ursprüngliche Versuch von Stannius bestand in Anlegung von Ligaturen an der Grenze zwischen dem Sinus venosus und den Vorhöfen, und zwischen diesen und dem Ventrikel, Durchschneidungen und Abtragungen einzelner Herztheile und deren Reizungen. Man beobachtet dabei einen Stillstand des Herzens bei der Ligatur oder Abtragung des Sinus venosus (grade in der Furche, den er an dem rechten Vorhofe bildet) und Wiederbeginn der Herzbewegungen bei Durchschneidung an der Atrioventricular-grenze. Man kann diese Operation an einem Herzen ausführen, welches entweder in seinen normalen Lagenverhältnissen gelassen wird, oder vom Körper entfernt und mit irgend einer graphischen Vorrich-

tung verbunden ist, die die Herzbewegungen aufzeichnet. Das letztere Verfahren ist insofern vorzuziehen, als es über den jeweiligen Stand der Herzthätigkeit viel zuverlässigere Beobachtungen zu machen gestattet. Es schafft aber auch einige neue Versuchsbedingungen, die man genau im Auge behalten muss, um vor irrthümlichen Schlussfolgerungen geschützt zu sein.

Wir wollen zuerst die Methode beschreiben, die bei der einfachen Ligatur befolgt werden muss.

Nachdem der Frosch an's Bret befestigt worden ist (es ist nicht bei allen Modificationen des Stannius'schen Versuches zulässig, dem Frosche auf die schon erwähnte Weise vorher das Rückenmark zu zerstören), wird ihm auf die bekannte Weise das Herz blossgelegt. Ist dieses geschehen, das Pericardium gespalten und nach allen Richtungen hin entfernt, um die zum Herzen tretenden Gefässe so weit es nur geht, freizulegen, so durchschneidet man den kleinen Bindegewebszug, der vom Pericardiumblatte zum Ventrikel (oft ein kleines Blutgefäss führend) sich begiebt und hebt den Ventrikel etwas empor. Sodann wird ein Faden unter die in die Vorhöfe tretenden Venen geführt, den man dann zu einer Ligatur fest zusammenschnürt; der Faden muss dabei genau an der Grenze zwischen Sinus venosus und rechtem Vorhof zu liegen kommen. Man erkennt diese Grenze leicht an dem weisslichen Streifen, der sich hier befindet. Für den Erfolg des Versuches ist es günstiger, mit der Ligatur eher unterhalb dieser Grenze zu bleiben, als von den Vorhöfen etwas mitzunehmen. Sonst bekommt man statt eines diastolischen Stillstandes im Gegentheil eine Beschleunigung der Herzschläge oder sogar einen wahren Herztetanus, ähnlich dem, welcher bei Schnittanlegung nahe an der Atrioventricular grenze auftritt.[1]) Hat man dagegen die Ligatur vor der Grenze des Sinus venosus angelegt, also keinen Stillstand erhalten, so kann man diesen noch durch eine zweite, etwas höher angelegte Ligatur hervorrufen.

Man kann ganz denselben Erfolg erzielen, wenn man, statt eine Ligatur anzulegen, den Sinus venosus durch einen Schnitt abträgt.

Legt man, während das Herz sich im diastolischen Zustande befindet, einen Schnitt oder eine Ligatur an der Grenze zwischen Ventrikel und Vorhöfen an, so beginnt der Ventrikel und auch meistens die Vorhöfe von Neuem zu schlagen.

Es ist bei Demonstration solcher Versuche sehr lehrreich, die Schnitte in verschiedenen Höhen, oberhalb und unterhalb der Lage der Bidder'schen Ganglien, zu führen, um die Abhängigkeit der regelmässigen Ventrikelcontractionen von ihrer Verbindung mit den an der Grenze befindlichen Zellengruppen zu zeigen. Auch das Abtrennen einzelner Muskelbündel und der Eintritt von Pulsationen bei deren mechanischer Berührung oder Erwärmen (in einem Uhrschälchen mit Serum oder Blut) ist für die Erläuterung der besonderen Eigenschaften, welche die Herzmuskulatur darbietet, sehr lehrreich (Friedländer).

Will man den Stannius'schen Versuch an einem mit dem Manometer verbundenen Froschherzen rein ausführen, so muss man die Canüle, welche in die

---

1) Die nähere Natur dieses Tetanus ist unlängst von Seiten Luciani's (in Ludwig's Laboratorium) Gegenstand einer sehr sorgfältigen Untersuchung geworden. Die Vorrichtung, mit welcher er gearbeitet hat, ist oben beschrieben und auf Taf. XX abgebildet worden.

Vene eingeführt wird, vor der Grenze des Sinus venosus durch den Faden festbinden. Auch ist es rathsam, die Stannius'sche Ligatur nicht sofort nach Füllung des Herzens mit Serum, sondern erst einige Zeit später anzulegen, damit die erregende Wirkung dieser Füllung vorübergeht. Aus leicht einzusehenden Gründen kann bei dieser Versuchsart die Wiederherstellung der Herzbewegung nicht durch Abschneidung des Ventrikels, sondern nur durch Anlegung einer Ligatur an den verschiedenen Abschnitten der Vorhöfe bis zur Atrioventricular-grenze erreicht werden.

Der geringste Reiz, welcher das Herz während des diastolischen Zustandes trifft, genügt, um eine Pulsation, oft sogar eine Reihe solcher Pulsationen hervorzurufen. Es genügt dazu schon, die Berührung der Herzoberfläche mit einer Nadelspitze oder eine kleine Erschütterung des Herzens.

Dadurch ist schon angedeutet, dass man auf das Sorgfältigste jede derartige Erschütterung vermeiden muss, wenn man den Stillstand längere Zeit will andauern lassen. Es ist aber nicht rathsam, diese Sorgfalt bis zum Untertauchen des Herzens unter Oel zu treiben, wie es Goltz gethan hat; mit Recht macht Eckhard darauf aufmerksam, dass es noch sehr fraglich sei, ob das Oel wirklich für die Herzmuskulatur eine ganz indifferente Umhüllung abgiebt.

Man kann bekanntlich einen diastolischen Stillstand auch durch Reizung des Sinus venosus erzeugen, jedoch ist der so veranlasste Stillstand von ganz anderen Momenten, als der durch die Stannius'sche Ligatur hervorgerufene, bedingt. Man bedient sich dazu am besten eines elektrischen Reizes, den man mittelst zweier spitzen Elektroden dem Sinus venosus zuführt. Versuche dieser Art können zwar auch ohne registrirende Vorrichtungen ausgeführt werden, sie gewinnen aber viel an Bedeutung, wenn man das Herz seine Bewegungen dabei aufzeichnen lässt. Um zu beweisen, dass der bei elektrischer Reizung des Sinus venosus veranlasste Stillstand nicht von denselben Momenten, wie der durch die Ligatur erzeugte, bedingt sei, thut man in das Serum, welches das Froschherz füllt, einige Tropfen eines der Gifte, welche die hemmenden Apparate im Herzen zu lähmen vermögen.

Als solche können Curare in grossen Dosen (Czermak, E. Cyon) oder Atropin in minimalen (Schmiedeberg) benutzt werden. Während die elektrische Reizung nach erfolgter Lähmung der hemmenden Vorrichtung im Herzen ganz unwirksam wird, vermag noch die Stannius'sche Ligatur einen diastolischen Stillstand zu erzeugen — ein Beweis, dass der Stillstand bei der Ligatur nicht von einer Erregung des Hemmungsapparates bedingt wird. Elektrische Reizung bedingt bei solchen Herzen oft sogar eine Beschleunigung der Herzcontractionen. Für das Verständniss der Wirkungsweise einzelner Herzganglien ist es in hohem Grade interessant, das Herz der Wirkung noch anderer Herzgifte zu unterwerfen, wie das Nicotin, Antiarin, Delphinin, Muscarin, Aconitin, Ecbolin u. s. w. Solche Versuche sind am besten an ausgeschnittenen und mit registrirenden Vorrichtungen verbundenen Herzen anzustellen, welchen man die Gifte durch Beimischung zum Serum zuführt. Die Ausführung von Unterbindungen und Reizungen einzelner Herzpartien bei gleichzeitiger Einwirkung eines oder mehrerer solcher Gifte ist ein vorzügliches Hilfsmittel, um über die Vorgänge in den Herzganglien einige Vorstellungen ableiten zu können. In den Untersuchungen von Bernard, Köl-

liker, Pelikan, Traube, Rosenthal, Schmiedeberg, Büttner, Boehm, Rossbach u. A. sind die Haupterfahrungen zu finden, welche die Physiologie über die Wirkungen der Herzgifte gewonnen hat. (Siehe am Schlusse dieses Paragraphen die Tabelle dieser Wirkungen, welche ich der Güte Kronecker's verdanke).

Nicht minder instructiv sind die Beobachtungen über die Wirkung elektrischer und mechanischer Reize auf die einzelnen Herzabschnitte. Zu Demonstrationen eignen sich jedoch von allen diesen zahlreichen Versuchen nur sehr wenige. Die Wulstbildung und das nachherige Absterben einzelner Ventrikelpartien wird bei mechanischer Berührung, wenn man dieselbe mit einiger Gewalt ausführt, und bei directer elektrischer Reizung — immer beobachtet, und der diastolische Stillstand, den man hervorrufen kann, wenn man einen elektrischen oder oft sogar einen stärkeren mechanischen Reiz auf eine circumscripte Stelle des linken Vorhofes (zwischen linker Aorta und Atriovertriculargrenze) einwirken lässt, sind fast die einzigen Erscheinungen, welche zu solchen Zwecken verwendet werden können. Man sei übrigens mit Demonstration der Wirkungen [1]), welche Gifte oder mechanische und elektrische Reizungen auf das Herz auszuüben im Stande sind, nicht zu freigebig, weil die oft nicht zu erklärenden Erfolge solcher Einwirkungen den Anfänger leicht verwirren können.

Dagegen lassen sich einige der Einflüsse, welche die Temperaturveränderungen am Herzen hervorbringen, mit Nutzen auch bei Vorlesungen demonstriren. Man bedarf dabei natürlich keiner so vollkommenen Vorrichtungen, wie sie oben für diesen Zweck angegeben worden; es genügt, das Herz in einem mit Serum gefüllten Schälchen abwechselnd sehr niedrigen und sehr hohen Temperaturen auszusetzen, um die äussersten Grenzen solcher Wirkungen zu veranschaulichen.

Tabelle der Herzgifte nach ihren Wirkungen geordnet.

Giftart.	Dosis. Milligr.	Thier-gattung.	Applica-tionsart.	Hemmungs-nerven-system.	Motorische Centren.	Herz-muskel.	Dauer der Wirkung.	Bemerkungen.
Muscarin	0,029	Frosch	sub-cutan	erregt Enden	intact	intact	beständig.	Diastolischer Stillstand.
„	0,05							
„	6,11					Reiz		Herz stirbt contrahirt.
„	1,5	Kl. Katze	„	wenig erregt	Pulsverminderung		bis Antidot sie aufhebt.	Speichelfluss, Dyspnoe, Pupillenenge, Defäcation.
„	5	Kaninchen	„		Puls v. 40—17		v. ½ Stund. nach Inject. bis 2½ St. später.	Salivation, Defäcation, Peristaltik, Respiration vermehrt, Ohrenhyperämie; Allgemeinbefinden gut.
„	5	Hund	„	nicht erregt	Puls etwas vermehrt		20 Min.	Salivation, Erbrechen, Defäcation.
Atropin (analog wirken	0,005	Frosch	„	gelähmt			beständig.	Vagusreizung giebt Pulsvermehrung. Es hebt Vergiftung durch Muscarin sogleich auf, welches dann unwirksam.
Hyoscyamin u. Daturin)	2	Hund	„					
Nicotin	0,2	Frosch	„	gereizt			1—1½ Min.	
„	grosse Dosis		„	gelähmt mittle Partie d. periph. Nerven.			beständig.	Vagusreizung unwirksam. Muscarin wirksam, elektrische Reizung des Venensinus wirksam (Traube, Rosenthal, Böhm, Schmiedeberg u. Truhart).

1) Den Stillstand des Herzens, welcher durch die Zuleitung eines inducirten Stromes zum Ventrikel hervorgerufen wird, zeigt man am besten an einem blossgelegten Säugethierherz.

Giftart.	Dosis. Milligr.	Thier-gattung.	Applicationsart.	Hemmungsnervensystem.	Motorische Centren.	Herzmuskel.	Dauer der Wirkung.	Bemerkungen.
Digitalin (analog Digitoxin und Digitalein)	5,10			gereizt auch nach Durchschneidung d. Vagus.	Systolischer Stillstand des Froschherzens bei grossen Dosen erregt (Traube)	Reiz		Unter das Serum gemischt verlangsamt die Herzschläge, welche aber stärker werden, dann unregelmässig bis zum Herztetanus. Muscarin wirkt. Atropin macht wieder Digitalineffect manifest. Der systol. Stillstand ist nur durch mechanische Dehnung lösbar, also wohl durch Aenderung des Gefüges (Elasticität) bedingt (Schmiedeberg).
Coniin				gereizt u. dann gelähmt Mittelstück.				Sinusreizung nach Muscarin macht Diastole. Vagusreizung nur anfangs, dann nicht (Böhm).
Curare								Analog mit Coniin.
Aconitin	0,5–1				erregt. Pulsbeschleunigung.			Vagi reizbar, Muscarin wirksam. Ventrikel unreizbar, Atropin wirksam.
Pseudoaconitin (schwächer				gelähmt	tetanisirt u. gelähmt	geschadigt.		Vagi unreizbar; Atropin verzogert Herztod. Tetanus.
Delphinin)				gelähmt		Reiz. Verderb.		Kein Antidot modificirt die Wirkung.
Veratrin				gereizt	Reizung	ermüdet	kurz 2—3 Stund.	Antidot wie bei Aconitin. Pulse: Diastolen 6—12mal verlängert: nicht tetanisch.
Calabar				wenig				Muscarin unwirksam! Vagus einige Zeit reizbar, Sinusreizung lange von Effect, Muscarin-Diastole langsam aber vollständig aufgehoben (Böhm entgegen Bezold und Goltz, welche jedoch an Warmblütern operirten)
Physostygmin				gereizt				
Gita Kayas, Pfeilgift d. Mintras von Malacca		Frosch						Intermittirende Contractionen der Vorhöfe. Stillstand des Ventrikels in Diastole oder Systole.
Antiarin	$\frac{1}{4}$Tropf.		subcut.		gereizt	Reiz		Der tetanische Herzkrampf, welcher nach peristaltischen Contractionen eintritt, kann durch Cyankalium aufgehoben werden, bis das Herz in Diastole stehen bleibt (Neufeld phys. Inst. z. Breslau 1885 gegen Kölliker, welcher Antiarin für ein paralysirendes Gift hielt.)
Cyankalium		Frosch		gereizt				Herz bleibt in Diastole. (Preyer, welcher den Effect von der dyspnoischen Vagusreizung herleitet.)
Inee, Pfeilgift d. Elephantenjäger von Senegambien von Strophantus bispidus Strophantin		Frosch und Warmblüter				Reiz Verderb.		Die Kammer bleibt in Systole stehen, die Vorhöfe in Diastole; unreizbar Wirkung ähnlich dem Veratrin (Fraser, Potaillon und Carville).
Samponin	5 gtt.	Frosch			Puls verlangsamt	unreizbar		Herz stirbt im Systole, Digitalin theilweise antagonist. Kein eigentliches Antidot (Köhler).
Cryptopin 1867 T. u. H. Smith aus Opium gewonnen	7,0					gelähmt		Herz bleibt in Diastole unerregbar, wird bald todtenstarr, nachdem langsame arhythmische Pulsationen vorausgegangen (J. Munk Diss. 73).
Ergotin (Alkoholextract v. Secale cornutum)		Hund			Pulsvermehrung.			Wirkung wesentlich auf die Gefässe ausgeübt.
Coffein					etwas erregt			Wenig wirksames Herzgift.
Kalisalze	100	Frosch	subcut.	gereizt	gereizt, dann gelähmt			Analog der Digitalinwirkung.

Herzgifte.

1. Erreger des Hemmungscentrums ohne Aufhebung der Communication durch den Vagus:
   Muscarin (nur auffallend, dass Physostygmin keine Muscarinwirkung gestattet, wohl aber Diastole durch Vagus und Sinus).
2. Lähmer des Hemmungscentrums:
   a) der Herzganglien:
   Atropin (Hyoscyamin, Daturin), Physostygmin (Aconitin, Pseudoaconitin, Delphinin, Veratrin).
   b) der Verbindungswege von Vagus zu Herzganglien:
   Coniin, Curare, Nicotin.
3. Erreger der motorischen Centren:
   Aconitin und Muscarin.
4. Erreger der Muskelsubstanz und Schädiger derselben:
   Aconitin, Delphinin, Veratrin, Antiarin, Digitalin.

---

§ XII. Versuche über die Herznerven.

Die Herznerven, welche bei Säugethieren Gegenstand des Experiments werden können, sind der Vagus, die Nn. accelerantes und der N. depressor, der letztere bei Thieren, bei welchen er gesondert verläuft. Den N. vagus legt man ganz in derselben Weise bloss, wie die Art. carotis, da er in der ganzen Länge des Halses an ihrer Seite verläuft. Viel schwieriger ist die Präparation der beschleunigenden Herznerven und des Nerv. depressor. Was nun diesen letzteren betrifft, so beginnt er bei den meisten bis jetzt untersuchten Thieren mit zwei Zweigen an der Abgangsstelle des N. laryngeus superior vom N. vagus, gewöhnlich mit einem feinen Zweigchen von jedem dieser beiden Nerven. Diesen Ursprung kann man leicht sehen, wenn man die Art. carotis etwas nach innen zieht, den N. vagus auf einem Faden ein wenig emporhebt und seinen Verlauf nach oben zum Larygeus sup. verfolgt; es genügt, ihn mit einer Präparationsnadel oder einem Finder vorsichtig vom umliegenden Zellgewebe zu isoliren, um an der Höhe des Kehlkopfes den N. laryngeus sup. und in dem Winkel, den er mit dem Vagus bildet, den N. depressor zu Gesicht zu bekommen. (Man lasse sich dabei nicht durch einen dem Laryngeus fast ganz parallel verlaufenden Cervicalnerv irreführen, der an derselben Höhe den N. vagus und die Art. carotis kreuzt, aber oberhalb dieses Gefässes liegt, während der Laryngeus sup. unterhalb dieses Gefässes verläuft). Der N. depressor schmiegt sich gleich nach seinem Abgange dem nach innen vom Vagus liegenden Halssympathicus an, mit dem er dann der Art. carotis entlang, und von derselben theilweise bedeckt, die ganze Halsgegend bis zum letzten Halsganglien des Sympathicus herunterläuft. Von diesem Ganglion an, mit dem er häufig durch einen feinen Nervenfaden verbunden ist, begiebt sich der N. depressor mehr nach innen zu, geht an der Art. subclavia vorbei und verliert sich dann im Herzen, zu dem er von hinten her zwischen der Art. pulmonalis und der Aorta sich begiebt. Die beiden Depressores liegen vor ihrem Eintritte in das Herzfleisch ganz nahe neben einander. Die anderen Zweige der Vagi, welche sich ebenfalls zum Herzen begeben, bleiben mehr nach aussen. Solchen Gang hat der Depressor bei Kaninchen, Katzen und Pferden, wahrscheinlich auch bei anderen Säugethieren, deren

Sympathicus getrennt vom Vagus verläuft. Auf Taf. XIV Fig. 2 und Taf. XVI Fig. 8 und 9 ist Ursprung und Verlauf des N. depressor beim Kaninchen dargestellt.

Die Präparation dieser Nerven am lebenden Thiere geschieht in folgender Weise. Nachdem durch einen etwa zwei Finger langen Hautschnitt der innere Rand des M. sterno-mastoideus blossgelegt worden, schiebt man diesen Rand etwas nach aussen, worauf die Art. carotis und der ihrem äusseren Rande anliegende N. vagus sofort sichtbar werden. Isolirt man die Carotis und hebt sie empor, so sieht man unterhalb dieses Gefässes zwei feine Nervenzweige ganz nahe bei einander und nach innen von dem N. vagus liegen; der mehr nach innen gelegene und schwächere Nerv ist der N. depressor. Man braucht dann nur mit einer Präparationsnadel das sie verbindende lockere Zellgewebe zu zerreissen und den Depressor auf grösserer Strecke vom Sympathicus ganz zu isoliren und so der Unterbindung und Reizung zugänglich zu machen. Nur in seltneren Fällen kann man gezwungen sein, den Sympathicus mit dem Depressor zuerst gemeinschaftlich auf einem Faden emporzuheben und erst, nachdem dies geschehen, sie von einander zu trennen. (Hat der Ungeübtere einen Zweifel darüber, welcher von diesen beiden der Depressor ist, so braucht er nur den einen derselben entweder nach oben zum Laryngeus sup. oder nach unten bis zum letzten Halsganglion zu verfolgen. Nach einigen Präparationen dieser Nerven am lebenden Thiere bietet sein Auffinden aber weiter keine Schwierigkeiten.)

Viel mehr Uebung gehört dazu, die Nn. accelerantes genügend isolirt am lebenden Thiere herauszupräpariren, um ohne Schwierigkeiten an ihnen operiren zu können.

Zuerst soll die Beschreibung der Lage dieser Nerven beim Kaninchen angegeben werden.

Wie aus Fig. 8 und 9 Taf. XVI ersichtlich ist, geht der N. sympathicus in der unteren Halsgegend in ein Ganglion (Ggl. cervicale inf.) über, dessen Form und weitere Verbindungen auf beiden Seiten des Körpers nicht ganz dieselben sind. Der häufigste Befund ist der, dass dieses Ganglion auf der rechten Seite weniger entwickelt ist als auf der linken; dem entgegengesetzten Verhältnisse begegnet man gewöhnlich in der Entwickelungsgrösse der beiderseitigen ersten Brustganglien (Ggl. stellatum s. thoracicum primum).

Von den Zweigen, welche von dem letzten Halsganglien abgehen, haben einige einen mehr constanten, andere einen mehr variablen Verlauf. Zu den constanten gehören die beiden Zweige, welche um die Art. subclavia einen ovalen Ring bilden, der in der Anatomie unter der Bezeichnung Annulus Vieussenii bekannt ist. Auf der rechten Seite (siehe Fig. 8) liegt dieser Ring um die A. subclavia ganz frei, an der linken wird er gewöhnlich durch zwei Zweige gebildet, welche das letzte Herzganglion mit dem ersten Brustganglion verbinden; von diesen Zweigen geht der eine vor, der andere hinter der Art. subclavia.

Fäden, welche einen sehr variablen Verlauf haben, sind einige feine Nervenzweige, welche sich von diesem Ganglion zum Herzen begeben, Anastomosen dieses Ganglions mit dem Laryngeus inferior und mit den letztern Cervicalnerven.

Die vom Ggl. cervicale infimum zum Herzen sich begebenden Zweige sind die Nn. accelerantes (M. und E. Cyon). Ausser diesen Nervenzweigen hat Bezold auch einen feinen Zweig beschrieben, welcher von den Cervicalnerven zum Ggl. stellatum (auf der linken Seite zum Ggl. cervicale infimum?) sich begiebt, der Art. vertebralis entlang läuft und ebenfalls beschleunigende Herzfasern führen soll; Bezold nannte diesen Zweig R. vertebralis. (Es ist mir einmal bei einem Kaninchen gelungen, einen N. accelerans auch in einem feinen Zweige zu finden, der sich vom Ggl. stellatum zum Herzen begiebt.)

Was die Präparationsweise dieser Nerven beim Kaninchen betrifft, so verfährt man dabei in folgender Weise. Durch einen im Trigonum supraclaviculare etwas schief von oben und aussen nach unten und innen geführten Hautschnitt, der, etwa vom unteren Dritttheil der Halsgegend beginnend, bis zum oberen Rand des Sternums reicht, wird der untere Theil des M. sternomastoideus, die A. carotis nebst den sie begleitenden Nerven und etwas mehr nach aussen auch die V. jugularis externa blossgelegt Ist dies geschehen, so isolirt man sorgfältig den genannten Muskel bis zu seiner Insertionsstelle am Manubrium sterni, führt unter denselben zwei starke Fäden, unterbindet ihn an zwei, der Insertion nahe liegenden Stellen und durchschneidet ihn zwischen den Ligaturen. (Oft wird sein Insertionstheil vom Sternum ganz einfach abgeschabt.) Die zu diesem Muskel sich begebende kleine Vene braucht nur in Ausnahmefällen unterbunden zu werden. Der so abgetrennte Muskel wird nach oben zurückgeschlagen, wodurch die untere an die Trachea grenzende Halspartie ganz blossgelegt wird. Sodann unterbindet man doppelt und durchschneidet eine kleine Vene, welche hart am Manubrium sterni die beiden Vv. jugulares externae verbindet, führt einen Faden unter die ebengenannte Vene derselben Seite und zieht sie etwas nach aussen. Die Art. carotis wird dabei durch einen Faden nach innen geschoben, wonach zur Präparation der Herznerven geschritten wird.

Man führt einen Faden unter den Sympathicus, den man am besten von dem Depressor isolirt, und sucht nun seine Verbindung mit dem Ggl. cervicale inf. auf, indem man vorsichtig seine Isolirung fortsetzt. Man findet dann leicht dieses Ganglion, welches rechterseits in dem von der Art. subclavia und Carotis gebildeten Winkel, linkerseits zwischen diesen beiden Arterien nahe an der Mündungsstelle des Ductus thoracicus gelegen ist.

Hat man dieses Ganglion isolirt, so greift man zu folgender Manipulation, welche für das weitere Auffinden der Herznerven ohne Thoraxeröffnung und ohne Rippenresection durchaus nothwendig ist. Dieser Kunstgriff besteht darin, dass man einen Haken, der durch eine Schnur mit einem Gewichte (Fig. 12 Taf. IV) verbunden ist, durch das Manubrium sterni sticht und mittelst desselben das Sternum und die vordere Thoraxwand soweit als möglich emporhebt. Hängt man das Gewicht über den Arm dieses Stativs, so verharrt die Brustwand in der ihr gegebenen Stellung. Durch dieses Emporheben erhält man die Möglichkeit, ohne die Brusthöhle zu öffnen, ziemlich tief in dem oberen Theile derselben zu operiren.

Die Aa. subclavia, vertebralis und cervicalis profunda werden dadurch dem Operiren zugänglich gemacht und legt man sie ganz dem Auge frei, ndem man mit der Pincette durch zerrende und drehende Bewegungen das Fett und Bindegewebe vorsichtig herausreisst, welches sie umgiebt und sich bis zum

Arcus aortae erstreckt; natürlich muss dabei die Stelle, welche die Herznerven einschliesst, nur mit äusserster Schonung präparirt werden. Hat man die genannten Arterien freigelegt, so schreitet man von Neuem zur Präparation der Nerven; wobei das G. cervicale inf. durch einen Faden etwas emporgehoben wird, um seine einzelnen Zweige (zuerst die oberhalb der Subclavia liegenden) vorsichtig blosszulegen.

Da die beschleunigenden Fäden zwischen der Fortsetzung des Depressor und dem Vagus liegen, so kann man sich bei ihrer Aufsuchung durch diese leiten lassen, indem man sie auf Fäden emporhebt. Der zum Herzen gehende Acceleranszweig liegt unmittelbar auf der Subclavia nach innen von dem oberen Zweige des Annulus Vieussenii; man unterbindet und reizt ihn unmittelbar nach seinem Abgange aus dem Ggl. cervical. infimum. Um zu dem Ggl. stellatum zu gelangen, schreitet man langsam dem hinteren Zweige des Annulus Vieussenii entlang, bis man es zu Gesicht bekommt. Diese Operation ist bei Kaninchen sehr schwierig, wenn man dabei die Zweige, welche sich von ihm zum Herzen begeben, herauspräpariren will. Sie lässt sich auch nur in besonders günstigen Fällen bei geringem Fettlager mit Erfolg ausführen; am besten ist es dabei, auf der rechten Seite zu operiren, weil man dann nicht durch den Ductus thoracicus gestört wird. Das Ausfliessen der Lymphe beim Aufschneiden dieses Ductus ist nämlich eine der störendsten Verunreinigungen der Wunde, welche das Herauspräpariren so feiner Nervenzweige oft geradezu unmöglich macht. Eine zweite Störung, durch welche die ganze Operation besonders bei Aufsuchung des Ggl. stellatum vereitelt werden kann, wird leicht durch Verletzung der V. vertebralis veranlasst und zwar wegen der nicht zu stillenden Blutung.

Der R. vertebralis kann dagegen mit weniger Gefahr herauspräparirt und isolirt werden.

Handelt es sich aber nur darum, das Ggl. stellatum zu exstirpiren, so kann derselbe auf die beschriebene Weise erreicht werden; man braucht dazu nur das Ganglion vorsichtig und isolirt mit der Pincette zu ergreifen und durch drehende Bewegungen allmählich herauszureissen. Nur darf man es bei solchen Operationen nie unterlassen, sich durch eine nachherige Section zu überzeugen, ob die Exstirpation auch vollständig gelungen ist.

Will man aber die Zweige des Ggl. stellatum auf sicherere Weise der Reizung unterwerfen, so bleibt nichts übrig, als nach Abtragung eines Stückes vom M. pectoralis major die erste Rippe theilweise zu reseciren.

Die anatomischen Verhältnisse dieser Partie weichen beim Hunde ziemlich beträchtlich von denen beim Kaninchen ab.

Fig. 7 und 10 auf Taf. XVI, Fig. 1 auf Taf. XIV und Fig. 1 auf Taf. XXVI zeigen die Lagerung dieser Nerven auf der rechten und linken Seitenhälfte des Körpers. Die Verbindungen des Ggl. stellatum sind von der Rückseite her noch auf Fig. 1 und 2 der Taf. XXV besonders dargestellt. Die Wichtigkeit der functionellen Thätigkeiten dieses Ganglions verlangt eine sehr genaue bildliche und schriftliche Darstellung aller seiner anatomischen Verbindungen.

Mit den hier auf den Tafeln dargestellten Variationen sind aber noch bei Weitem

nicht alle erschöpft, welche überhaupt vorkommen.[1]) In den bei Weitem häufigsten Fällen ist bekanntlich beim Hunde der Vagus mit dem Sympathicus in einer gemeinschaftlichen Scheide gelegen und gehen meistens auch beide gemeinschaftlich durch das untere Halsganglion. Der Vagusstamm geht dabei nicht einfach durch dieses Ganglion, sondern bildet mit ihm eine Anastomose, wie aus der Fig. 1 Taf. XXVI ersichtlich, wo der Vagus schon vor dem Eintritt in dies Ganglion vom Sympathicus getrennt ist. Dieses Ganglion, ebenso wie das Ggl. thoracicum primum, ist auf der linken Seite gewöhnlich etwas stärker entwickelt, als auf der rechten. Es sind mir auch Hunde vorgekommen, bei denen das Ggl. cervicale infimum rechterseits besonders stark, dagegen das entsprechende Ggl. stellatum kaum angedeutet war. Das Ganglion cervicale infimum liegt auch beim Hunde nahe an der Trachea und ist von der Art. carotis bedeckt. Wenn wir von dem starken Zweige absehen, welcher die Fortsetzung des Vagusstammes ist, so giebt dieses Ganglion folgende Zweige ab. Wir zählen sie von aussen nach innen auf:

1) Einige kleine Zweige, welche die Art. subclavia umfassen (Fig. 10 Taf. XVI).

2) Der Annulus Vieussenii, meistens aus Verbindungszweigen bestehend, welche sich zum Ggl. stellatum begeben, der eine vor, der andere hinter der Art. subclavia. Fig. 1 auf Taf. XXVI zeigt auch eine Variation in dem Verlaufe dieses Annulus; sein unteres Ende nämlich reicht nicht bis an das Ggl. stellatum; hier ist aber die Verbindung zwischen den beiden Ganglien durch einen dicken Strang dargestellt, durch den sie gleichsam zu einem verschmolzen sind.

3) Zwei Rami cardiaci accelerantes, primus und secundus, die sich zum Herzen begeben; der mehr nach aussen gelegene R. primus entspringt oft aus dem obern Zweig des Ann. Vieussenii (Fig. 7 Taf. XVI).

4) Ein mit dem Vagus anastomosirender Ast, und endlich

5) Eine Anastomose mit dem N. laryngeus inferior, von der nicht selten ein beschleunigender Nerv zum Herzen abgeht.

Die Anastomose mit dem Vagus scheint dieselbe Bedeutung zu haben; wenigstens deuten einige Beobachtungen darauf hin, dass der Vaguszweig, welcher sich zum Herzen begiebt, solche beschleunigende Fasern führen kann, während in seinem Stamme am Halse keine solchen nachweisbar sind.

Das Ganglion stellatum s. thoracicum primum liegt auf dem M. longus colli, unterhalb der Art. subclavia nach innen und unten von der Abgangsstelle der Art. vertebralis. Dieses Ganglion trägt den Namen stellatum wegen der vielen Fortsätze, welche sternförmig nach allen Richtungen hin von ihm abgehen. Es ist in der Fig. 10 Taf. XVI von seiner vorderen Seite, in den Fig. 1 und 2 Taf. XXV von seiner hinteren dargestellt. Ausser den schon be-

1) H. Schmiedeberg scheint es entgangen zu sein, dass M. Cyon und ich die Nn. accelerantes auch beim Hunde schon im Jahre 1866 gefunden und den Erfolg ihrer Reizung beschrieben haben; in den Abhandlungen über diese Nerven vom Jahre 1867 ist ihr Verlauf angegeben und in meiner Mittheilung „Ueber die Wurzeln etc.," Berichte der Sächs. Acad. d. Wiss. 1868, durch zwei Figuren bildlich dargestellt worden. Der Unterschied zwischen meiner und Schmiedeberg's Beschreibung ist nur der, dass ich die linke und er die rechte Seite beschrieben hat.

schriebenen Zweigen, die dasselbe mit dem Halsganglion verbinden, giebt es noch einerseits eine Anzahl von Rr. communicantes zu den drei letzten Hals- und zwei ersten Brustwurzeln und eine oder zwei Rr. accelerantes zum Herzen. Nach unten geht er in den Grenzstrang über und erhält noch gewöhnlich einen gesonderten Zweig von der 3. Brustwurzel.

Was nun die Präparationsweise der Nerven dieser Gegend bei Hunden anbetrifft, so pflege ich, um das Ggl. cervicale infimum und seine Zweige zu präpariren und Durchschneidungen und Reizungen an ihnen vorzunehmen, ganz genau in derselben Weise wie beim Kaninchen zu verfahren. Exstirpationen des Ggl. stellatum für Versuche an Herznerven können ebenfalls ohne Eröffnung der Brusthöhle auf die oben angegebene Weise gemacht werden. Nur in den Fällen, wo man einen vom Ggl. stellatum zum Herzen abgehenden Zweig reizen will, kann man gezwungen werden, die erste Rippe zu entfernen. Es wäre überflüssig, hier dieses Operationsverfahren nochmals zu beschreiben, es sollen daher nur einige Eigenthümlichkeiten berücksichtigt werden, welche durch die besonderen Verhältnisse beim Hunde geboten erscheinen. Der Hautschnitt sowohl wie die ganze Wunde kann beim Hunde verhältnissmässig kleiner gemacht werden, indem der Schnitt viel tiefer an der Halsgegend beginnen kann. Das kommt daher, weil die Auffindung des letzten Halsganglions wegen seiner grösseren Dimensionen hier ganz leicht auch durch eine kleine Oeffnung geschehen kann. Durch einen am unteren Theile des Vago Sympathicus geführten Faden hebt man dieses Ganglion empor und schreitet nun zur Präparation seiner Zweige. Die vorherige Unterbindung der Venenanastomose, welche beide Jugulares externae verbindet, kann beim Hunde oft wegbleiben. Das Auffinden des Ganglion stellatum geschieht in der Weise, dass man mit dem Zeigefinger der rechten Hand der Art. vertebralis entlang heruntergleitet, bis man ganz nahe der Seitenfläche der Wirbelkörper das als unregelmässige Anschwellung sich anfühlende Ganglion erreicht. Will man die vom letzten Halsganglion abgehenden Zweige in ihrem ganzen Verlaufe sichtbar machen, so thut man oft gut, zuerst das Ganglion stellatum vom Grenzstrange zu trennen und ihn dann mittelst eines Fadens oder Hakens etwas in die Höhe zu ziehen. Auch beim Hunde leistet das schon oben beschriebene Emporheben des Manubrium sterni die besten Dienste; nur selten wird man gezwungen, auf dieselbe Weise auch die erste Rippe in die Höhe zu heben. Die Stellung des Operateurs bei dieser Präparation ist die, dass er sein Gesicht dem Innern der Thoraxhöhle zuwendet; er stellt sich also mehr an die Kopfseite des Thieres. Ein von dem beschriebenen ganz verschiedenes Verfahren, hat beim Hunde O. Schmiedeberg in Ludwig's Laboratorium angewendet. Wir lassen seine Beschreibung wörtlich hier folgen: „Nachdem man einen auf dem M. pectoralis beginnenden, bis über die Mitte des Halses hinaufreichenden Hautschnitt gemacht, wird die obere Partie des Pectoralis major am Manubrium sterni und in der Nähe des Schultergelenkes mit Ligaturen umschnürt und zwischen den letztern quer durchschnitten, so dass die vordere Fläche und der obere Rand der ersten Rippe freigelegt werden. Nachdem die grossen venösen Gefässe bis hinunter zur Vena cava superior (am besten durch Zerreissen) von dem sie umgebenden Bindegewebe befreit sind, werden zunächst die vier grössten Venen, Vv. anonyma, subclavia, jugularis externa et interna, in einiger Entfernung von

ihrer Vereinigungsstelle, und, falls zwischen der letzteren und den Ligaturen sich noch Aeste finden, auch diese unterbunden und alle innerhalb der Unterbindungsstellen durchschnitten. Dadurch kommt man zunächst auf das untere Ende der A. carotis communis, und nach Entfernung von ein wenig Bindegewebe auf die übrigen arteriellen Gefässe (Truncus anonymus, Subclavia, Mammaria interna, Vertebralis, Intercostalis suprema, Cervicalis profunda, Transversa scapulae et Cervical. ascendens), die man, wie die venösen, einzeln unterbindet und durchschneidet. Die Unterbindung des Truncus anonymus geschieht zwischen dem Ursprung der linken Carotis und seiner Theilungsstelle. Da die letztere, sowie die Ursprungsstellen der meisten jener arteriellen Gefässe von den oben genannten Nerven gleichsam umfasst werden, indem nach vorne der Vagusstamm, der absteigende Theil des Recurrens, die Rami cardiaci und der zweite Verbindungsast beider Ganglien, nach hinten der aufsteigende Theil des Recurrens und der erste Verbindungszweig der Ganglien liegen, so ist bei der Unterbindung darauf zu achten, dass nicht einer der Nerven mit umschnürt wird, was namentlich mit dem ersten Verbindungsnerven wegen der Nähe der Art. vertebralis und mit dem Ram. cardiacus sup. wegen seiner Lage zur Art. anonyma leicht geschehen kann." (l. c. p. 36.)

Die zahlreichen Gefässunterbindungen, welche Schmiedeberg ausgeführt, können meinen Erfahrungen nach an dieser Stelle leicht vermieden werden. Die Circulationsstörungen, welche durch dieselben erzeugt werden, sind unnöthige Complicationen des Versuchs, die für dessen Erfolg nicht immer als irrelevant betrachtet werden können.

Nur beim Operiren an dem Ggl. stellatum bieten Unterbindungen der V. jugularis, der Art. subclavia und vertebralis wirklich grosse Erleichterung.

Einer besondern Erwähnung bedarf noch das Verfahren, die Zweige des N. laryngeus inferior zu reizen, welche sich zum Herzen begeben. Da man diese kurzen und feinen Zweigelchen nicht immer isolirt herauspräpariren kann, so kann man sich damit begnügen, den N. laryngeus inferior dicht an seiner Abgangsstelle vom Vagus zu reizen, nachdem er vom letzten Halsganglion schon die Fäserchen erhalten hat, und den Erfolg dieser Reizung mit demjenigen vergleichen, welchen seine Reizung näher seiner peripherischen Ausbreitung (also hinter der Stelle, wo die Herzzweige von ihm abgehen) liefert. Das Verfahren, welchem ich sowohl bei Hunden, als auch insbesondere bei Kaninchen zu ähnlichen Zwecken den Vorzug gebe, besteht darin, dass zuerst die betreffende Halsgegend auf die beschriebene Weise so weit blossgelegt wird, dass die Art. subclavia frei zu erreichen ist; sodann durchschneide ich den Laryngeus inferior und schiebe sein centrales Ende allmählich unter die Subclavia in der Weise herunter, dass es von der Brusthöhle aus mit einer Pincette gefasst und so über die Subclavia geschlagen werden kann. Seine Uebergangsstelle auf den Vagus kommt in dieser Weise anstatt unterhalb, — oberhalb der Subclavia zu liegen, und ist sowohl er selbst, als die von ihm abgehenden Herzfäden der Reizung viel zugänglicher.

Jetzt soll die Reihenfolge der verschiedenen allgemeinen Handgriffe aufgezählt werden, welche bei dem Experimentiren an den Herznerven einzuhalten ist.

1) Wenn die sonstigen Bedingungen des Versuches es nur irgendwie gestatten, soll man bei allen Versuchen sowohl über Herz- als über Gefässnerven die Thiere zuerst durch Curare[1]) bewegungslos machen. Ehe man also zur Präparation der Nerven schreitet, curarisirt man das Thier und leitet die künstliche Athmung ein.

2) Nach Eintritt der Vergiftungserscheinungen schreitet man zum Auffinden der Nerven; nachdem dieselben sorgfältig isolirt worden, führt man unter dieselben Fäden, welche nur vorläufig an den Spitzen durch einen Knoten verbunden werden.

3) Sodann schreitet man zur Einführung der Canüle in die Arterie und Verbindung derselben mit dem Manometer.

4) Nachdem das Manometer einige Zeit die normalen Blutdruckcurven aufgezeichnet hat, wird zuerst die Unterbindung und Durchschneidung und dann die elektrische Reizung des betreffenden Nerven ausgeführt. Zur Reizung bedient man sich, wie gewöhnlich, eines Du Bois-Reymond'schen Schlittenelektromotors, dessen Strom durch Elektroden, etwa von der Art der auf Fig. 7 und 8 Taf. IV abgebildeten, auf den Nerven übertragen wird. Nur für die beschleunigenden Herznerven ist es rathsam, den Elektroden eine besondere Einrichtung zu geben. In Ludwig's Laboratorium werden zu diesem Zwecke sehr zweckmässige Reizträger gebraucht, wie die in Fig. 3 Taf. IV abgebildet sind.

Der betreffende Nerv wird zwischen den beiden Platten aus Hartgummi eingeschlossen; die in Rinnen der einen Platte eingekitteten Platindrähte dienen als Elektroden; sie können mit feinem Kautschukpapier überzogen werden, das man vor der Anlegung des Nerven mit einer schwachen Kochsalzlösung befeuchtet. Dadurch gewinnt man die Möglichkeit, die Reizung der Nerven mit Unterbrechungen stundenlang fortzusetzen, ohne dass ihre Erregbarkeit erlischt; der Grund hiervon liegt darin, dass auf den Nerven nur schwache Stromesschleifen und nicht der ganze Strom wirkt. Durch kleine doppelt durchbohrte Drahtklemmen werden die Platindrähtchen mit dem Ende der secundären Spirale in leitende Verbindung gebracht. Hat man die Nerven in diese Elektroden fixirt, so lässt man diese letzteren in der Wunde liegen und operirt später, schon nur an dem Schlüssel des Inductionsapparates. Auch dadurch wird ein grosser Vortheil erzielt.

Nach den Erfolgen der auf diese Weise ausgeführten Reizungen zu urtheilen, scheint diese Reizungsweise sonst keine Gefahren wegen möglicher Mitreizung benachbarter Nervenfäden zu bieten. Ist man aber nicht im Besitze solcher Elektroden, so braucht man nur den Spitzen der gewöhnlichen Elektroden eine hakenförmige Biegung zu geben, um sicher und gut an diesen Nerven operiren zu können. Die Reizung muss erst begonnen werden, nachdem die Elektroden schon unter den Nerven gebracht sind; man schliesst also den Strom durch eine besondere Vorrichtung nach deren Verbindung mit dem Nerven. Die zu wählende Stromesstärke ist bei allen Herznerven nicht unbedeutend: beim N. depressor am schwächsten und bei den Nn. accelerantes am stärksten; bei diesen

---

1) Das gleichzeitige Vergiften der Thiere mit Curare und Opium, zur Vermeidung der Veränderungen der Gefäss-Lumina, das von Einigen geübt wird, erreicht aus vielen Gründen nicht immer den beabsichtigten Zweck.

letzteren tritt der Erfolg der Reizung auch nicht sofort mit dem Beginn derselben ein, sondern es geht ihm ein kurzes Stadium latenter Reizung voraus.

Die Vorlesungsversuche, um die Wirkungsweise der Herznerven zu demonstriren, sind folgende: A) Um die Vaguswirkung zu demonstriren, wird zuerst die Zahl der Herzschläge und die Höhe des Blutdruckes bei erhaltenen Vagi bestimmt und dann deren Veränderung bei Unterbindung und Durchschneidung des einen und dann des anderen dieser Nerven beobachtet. Nachdem die eingetretene Beschleunigung und vorübergehende Druckerhöhung constatirt sind, wird der periphere Stumpf des einen Vagus zuerst schwach und dann stärker gereizt. (Die Curarevergiftung darf, wenn sie bei Vagusversuchen überhaupt angewendet wird, nur schwach sein.) Um einen vollständigen Stillstand des Herzens zu erzielen, ist es oft nothwendig, die beiden Vagi gleichzeitig mit zwei gesonderten Inductionsströmen zu reizen.

Setzt man an dem einen Vagus die nicht zu intensive Reizung längere Zeit fort, so kann man auch zeigen, dass die Verlangsamung nicht während der ganzen Reizdauer anhält, sondern durch periodische, wiederkehrende Nachlässe unterbrochen wird.

Um die bekannteren Ursachen der tonischen Erregung dieser Nerven, nämlich die CO_2-Anhäufung und den in der Schädelhöhle herrschenden Druck in ihrer Wirkungsweise auf das Centrum der Vagi zu demonstriren, genügt es, das eine Mal die Athmung zu suspendiren, das andere Mal die Aorta abdominalis zu comprimiren.

Diese Compression der Aorta wird in der Weise vorgenommen, dass in der Linea alba 2—3 Finger breit unterhalb des Processus xyphoideus ein kleiner Einschnitt gemacht wird, durch den zwei Finger der rechten Hand (Zeige- und Mittelfinger) eingeführt werden und durch vorsichtiges Beiseiteschieben der Darmschlingen von links nach rechts die an den Körpern der Wirbelsäule liegende Aorta aufgesucht und womöglich oberhalb des Abganges der Nierenarterien an die Wirbelsäule angedrückt. Der Einfluss der Druckverminderung wird durch plötzlichen Nachlass dieses Druckes demonstrirt.

Nachdem dies geschehen, durchschneidet man die beiden Vagi und wiederholt die beiden Einwirkungen (Suspension der Athmung und Compression der Bauchaorta) von Neuem. Das Resultat dieser Versuche ist so constant und deren Deutung so evident, dass sie zu den belehrendsten der hier einschlagenden Demonstrationen gezählt werden müssen. Die in seltenen Fällen auch nach Vagusdurchschneidung bei CO_2-Anhäufung und Druckerhöhung noch eintretende Verlangsamung der Herzschläge hat ihren Grund in der Erregung der Vagusenden im Herzen selbst. Der geringe Werth solcher Verlangsamung kann die Evidenz dieser Demonstrationen nicht beeinträchtigen, sie lässt sich auch vermeiden, wenn man dem Thiere, statt die Vagi zu durchschneiden, eine Atropineinspritzung macht, welche auch die peripheren Enden der Vagi im Herzen selbst zu lähmen vermag. (Der Einfluss des Hirndruckes auf die centralen Vagusenden lässt sich noch directer demonstriren dadurch, dass man durch eine kleine Trepanöffnung im Schädel diesen Druck am besten mittelst Einspritzung einer kleinen Menge von Flüssigkeit erhöht).

Bei allen demonstrativen Versuchen am Vagus ist es instructiv, eine Nadel durch die Brustwand in's Herz zu stecken, die womöglich mit einer elektrischen

Glockenvorrichtung verbunden ist, um die Veränderungen der Schlagzahl des Herzens noch mehr zu veranschaulichen.

Am Schlusse des Versuches eröffnet man die Brusthöhle, um den Zustand des Herzens während des Stillstandes zu zeigen.

B) Der N. depressor wird zuerst unterbunden und durchschnitten, um den Mangel seiner tonischen Erregung zu constatiren, und dann sein centraler Stumpf mit mittelstarkem Strom gereizt. Um die Ursachen der eintretenden Blutdrucksenkung und Verlangsamung sowohl wie ihre Unabhängigkeit von einander darzuthun, durchschneidet man zuerst die beiden Vagi, wobei die Verlangsamung fast vollständig wegfällt und sodann die Nn. splanchnici (das Verfahren dieser letzteren Operation ist im nachfolgenden § beschrieben), wonach auch die Drucksenkung bei Depressorreizung ausbleibt.

Mit dieser letzteren Operation wird auch die Unabhängigkeit der Drucksenkung von irgend einer reflectorischen Wirkung auf das Herz demonstrirt; direct kann dasselbe bewiesen werden, indem man den Depressor reizt, nachdem durch Durchschneidung der beiden Vagi und beiderseitigen Exstirpation des letzten Hals- und ersten Brustganglion jede Verbindung des Herzens mit dem Centralnervensystem unterbrochen wurde. Solche Exstirpationen sind, wie oben angegeben, ohne Brusthöhleneröffnung ausführbar und schon darum allein dem früheren Verfahren von Ludwig und Thiry vorzuziehen, das in galvanokaustischer Zerstörung sämmtlichen in der Umgegend des Herzens befindlichen Gewebes, mit Ausnahme der Blutgefässe, bestand.

C) Während bei den Versuchen über die bisher beschriebenen Nerven dem Quecksilbermanometer unbedingt der Vorzug gegeben werden muss, thut man gut, bei Versuchen über die beschleunigenden Herznerven von Zeit zu Zeit entweder zu dem Fick'schen Federmanometer zu greifen, oder die Zahl der Herzschläge durch eine der im früheren Paragraphen angegebenen Methoden zu controliren.

Man kann die Existenz der Nn. accelerantes auf eine doppelte Weise demonstriren: entweder auf indirectem Wege durch Rückenmarksreizung oder auf directem durch Reizung dieser Nerven. Bei dem ersten dieser Verfahren ist folgende Reihenfolge der Operation auszuführen:

1) Curarevergiftung und Einleitung künstlicher Athmung.

2) Verbindung der Carotis mit dem Manometer durch mehrere aus Glas- und Kautschukröhren bestehende Zwischenstücke, damit bei den Umlagerungen des Thieres (aus der Bauch- in die Rückenlage und umgekehrt), keine Zerrung der Arterie stattfinden kann. Man fixirt zu demselben Zwecke dieses Zwischenstück unbeweglich an den Kopfhalter des Thieres.

3) Blosslegung des Rückenmarkes in der Höhe des Atlas. (Das Nähere des operativen Verfahrens siehe im nächsten Paragraphen.)

4) Während die Blutdruckcurve verzeichnet wird, Durchschneidung des Rückenmarkes in der betreffenden Höhe.

5) Reizung des peripherischen Stumpfes des Rückenmarkes mittelst der besonders dazu eingeführten Elektroden (s. unten).

6) Nach Unterbrechung der Reizung und Lösung der Verbindung zwischen Manometer und Arteriencanülen, Blosslegung und Durchschneidung beider

Splanchnici. (Während dieser Zeit wird das Manometerrohr und die Canüle frisch gefüllt.)

7) Nochmalige Reizung des Rückenmarkes nach Wiedervereinigung der Arterie mit dem Manometer. Der Zweck der Operation sub *b* besteht bekanntlich darin, die bei der Reizung (5) des Rückenmarkes auftretende Blutdrucksteigerung auszuschliessen und so die Beschleunigung der Herzschläge isolirt beobachten zu können.

8) Hat man die bei solchen Reizungen eintretende Beschleunigung erhalten, so braucht man nur die letzten Hals- und ersten Brustganglien zu exstirpiren, um zu zeigen, dass diese Beschleunigung durch die Erregung von Nerven entstanden ist, welche diese Ganglien passiren.

So complicirt das beschriebene Verfahren auch ist, so ist es doch bei Demonstrationen zu empfehlen, weil damit gleichzeitig noch eine ganze Reihe anderer Erscheinungen demonstrirt werden kann, die von hohem Interesse sind; hierzu gehören vorzugsweise die Wirkung der Rückenmark- und Splanchnicus-Durchschneidung und Reizung. Der Erfolg der auf diese Weise ausgeführten Operation ist auch insofern belehrend, als er dem Anfänger ein klares Bild vor Augen führt von der grossen Verwicklung und dem Ineinandergreifen der verschiedenen bei der Circulation mitwirkenden Factoren.

Will man dagegen die Wirkung der beschleunigenden Nerven direct demonstriren, so ist es oft rathsam, diese Nerven schon vorher zum Versuche fertig zu präpariren, da diese ziemlich schwierige Vivisection, wenn in Anwesenheit eines grossen Zuhörerkreises ausgeführt, auch fehlschlagen kann. Man beschränke sich auch dabei nur auf die Unterbindung und Reizung des einen vom Ggl. cervicale infimum abgehenden Zweiges und zwar des R. accelerans secundus, der den regelmässigsten Verlauf hat.

Beim Frosche ist der N. vagus der einzig bekannte Nerv, welcher das Rückenmark mit dem Herzen verbindet. Er tritt aus dem verlängerten Marke mit einigen Wurzeln hervor, von denen die untere wahrscheinlich den N. accessorius darstellt. Ausserhalb der Wirbelsäule trägt der Vagus ein kleines Ganglion, zu welchem einige Fädchen aus dem Sympathicus hinzutreten. Er theilt sich bald darauf in zwei Zweige, von denen der obere den Glossopharyngeus darstellt, der untere ist der eigentliche Vagus. Sodann begiebt er sich, zuerst von seinen Zweigelchen, dem N. laryngeus begleitet, zum Herzen, wobei er fast genau am Rande der Muskelbündel (M. pterohyoideus) gelegen ist, welche vom Schädelknochen sich zum Horn des Zungenbeins begeben. Ehe er, die Vena cava superior begleitend, in den Sinus venosus eintritt, geht er an der Lungenspitze hinter der Lungenarterie vorbei und giebt einige feine Fädchen an das Lungengewebe ab. (Siehe Fig. 8 auf Taf. XXI.)

Der Nerv hat (wahrscheinlich Dank dem ihn umgebenden Bindegewebe) ein graues Aussehen und macht beim ersten Anblick den Eindruck einer leeren Arterie. Sein Auffinden ist daher für den Anfänger nicht sehr leicht. Das dazu nöthige Verfahren besteht darin, dass, nachdem das Herz in der bekannten Weise blossgelegt ist, man in den Oesophagus eine dicke Glasröhre bis in den Magen hineinschiebt, wodurch das Herz und die ihn umgebenden Theile hervorgewölbt werden. Man sieht alsdann zwei ziemlich parallel verlaufende Nerven, von denen

der obere der Hypoglossus, der untere der Glossopharyngeus ist. Diese beiden Nerven liegen auf dem schon erwähnten M. pterohyoideus. Etwas tiefer als diese Nerven sieht man einen feinen Nervenzweig, der fast ganz parallel den Lungengefässen verläuft und dann zum Larynx sich begiebt (N. laryngeus). Der N. vagus liegt nun etwas tiefer und ist auch mehr schief nach unten gerichtet, als der N. laryngeus. Man erkennt ihn an seiner graueren Färbung und isolirt ihn am leichtesten an der Stelle, wo er die Lungenarterie kreuzt (Siehe Fig. 8.)

Es ist sehr vortheilhaft, um bei der Präparation durch die Bewegungen des Thieres nicht gestört zu werden, dasselbe schwach zu curarisiren oder ihm auf die schon angegebene Weise das ganze Rückenmark zu zerstören.

Will man die Vaguswirkung genauer studiren, so ist es rathsam, das Herz mit einer der schreibenden Vorrichtungen zu verbinden, die wir oben beschrieben haben. Am zweckmässigsten wählt man für diesen Zweck das von Coats benutzte Verfahren: man zerstört bei einem Frosche das Rückenmark, schneidet die untere Hälfte des Thieres bis an die Leber durch, legt dann auf die bekannte Weise das Herz bloss, führt durch den Oesophagus und offenen Magen eine dicke, an beiden Seiten zusammengeschmolzene Glasröhre; sodann führt man die Canülen in die linke Aorta und Vena cava inferior ein, nachdem man die sie von beiden Seiten umgebenden Leberbänder durchschnitten hat. Die Glasröhre wird dann sammt dem Froschstücke an einem Stativ befestigt und die Canülen mit dem Manometer verbunden.

Das ganze Präparat sammt Manometer ist auf Taf. XX Fig. 2 dargestellt. Hervorzuheben ist noch, dass Coats, nachdem er die andern Nerven durchschnitten hatte, den herauspräparirten Vagus in der Weise für die Elektroden zugänglicher machte, dass er durch Entfernung eines Stückes des Oesophagus unter ihm ein Fenster bildete. Sehr rathsam ist es dabei, einen grossen Hautlappen zu erhalten, um damit das Herz vor dem Vertrocknen etc. zu schützen.

Mit einem so hergerichteten Herz- und Vaguspräparate lassen sich dann die zartesten Untersuchungen über die Vaguswirkungen anstellen; und ist sie für solche Zwecke bei Weitem den in § II beschriebenen von Marey, Czermak und Nüel angewandten Verfahren vorzuziehen. Der Vagusstamm scheint auch beschleunigende Herznerven zu führen; man sieht deren Wirkung nur dann, wenn man seine hemmenden Fasern nach Schmiedeberg's Vorgange durch Atropin lähmt.[1]) Die Reizung des Vagus ergiebt dann eine Beschleunigung, die verschieden stark, aber immer deutlich genug ausgedrückt ist. Wahrscheinlich treten diese Fasern in den Vagusstamm durch seine oben erwähnte Anastomose mit dem Sympathicus.

Zu beschreiben sind noch die Operationsweisen, welche die Beobachtung der reflectorischen Erregungen auf die Herznerven zum Ziele haben.

Jede Reizung eines sensiblen Nerven ruft, wie schon Cl. Bernard an den hinteren Wurzeln gezeigt hat, eine Verlangsamung der Herzschläge hervor. Es giebt aber einige Nervenfasern, die, wie es scheint, die Vagusstämme in tonischer,

1) Man könnte diese Beschleunigung nach Lähmung der hemmenden Herzapparate auch so zu erklären suchen, wie die Vaguswirkung bei durch Wärme zum Stillstande gebrachtem Herzen (E. Cyon).

reflectorischer Erregung erhalten. Goltz und nach ihm Bernstein haben gezeigt, dass man durch Reizungen der in den Eingeweiden sich verzweigenden Nervenfasern Verlangsamungen der Herzschläge hervorrufen könne. Wiederholung dieser Reizungen bei vorher durchschnittenen Nn. vagi belehrte durch das Ausbleiben dieser Verlangsamung, dass sie in der That von einer Erregung dieser Nerven abhängig ist. Der Goltz'sche Versuch wird am einfachsten in der Weise ausgeführt, dass man einem Frosche eine feine Stecknadel durch's Sternum in's Herz steckt und dann mit einem Spatel oder der flachen Seite eines Messerstiels auf die Bauchgegend des Frosches mehrmals anklopft; man sieht dann bald, dass das Herz entweder auf kurze Zeit still steht oder wenigstens die diastolischen Pausen bedeutend verlängert werden. Legt man das Herz bloss und durchschneidet die beiden Vagi, so bleibt das Klopfen erfolglos.

Man kann die sympathischen Nerven direct beim Frosche erregen, wenn man bei ihm die Bauchhöhle eröffnet, sämmtliche Eingeweide vorsichtig entfernt und auf dem Körper der Brustwirbel in der Nähe des Beginnes der Bauchaorta, nach Spaltung der Wand der Cisterna magna, den Grenzstrang aufsucht. Elektrische Reizung der centralen Enden der von den Ganglien des Grenzstranges abgehenden Zweige (Rami mesenterici) bedingt einen ebensolchen Stillstand, wie der Goltz'sche Klopfversuch. Auch beim Kaninchen und beim Hunde kann man durch Reizung des centralen Stumpfes der Nn. splanchnici Verlangsamungen der Herzschläge hervorrufen, welche theils von directer Erregung der centralen Vagusenden, theils von indirecter Reizung dieser, sowie der peripherischen Enden, durch die bei solchen Reizungen eintretenden Erhöhungen des intracardialen und des Schädeldrucks abhängen. (Asp.)

Nach den jetzigen Erfahrungen sind diese von sympathischen Nerven erzeugten reflectorischen Verlangsamungen durch die Erregung der in ihren Stämmen verlaufenden sensiblen Fäden zu deuten.

Einige sensible Fäden der Gehirnnerven scheinen im Stande zu sein, reine Reflexe auf die centralen Vagusenden zu veranlassen, ohne gleichzeitig von reflectorischen Druckerhöhungen begleitet zu sein. So z. B. kann man durch Reizung des centralen Endes eines Nervenfadens, welcher die beiden Laryngei verbindet, reflectorisch eine Verlangsamung der Herzschläge hervorrufen, ohne dabei eine andere Druckveränderung zu beobachten, als eine geringe Senkung, welche nur Folge dieser Verlangsamung selbst ist. Dieser Zweig ist auf Taf. XXV Fig. 3 dargestellt; wie man sieht, geht er vom N. Laryngeus sup. ab, nachdem dieser schon in den Kehlkopf hinter dem obern Horn des Schildknorpels getreten ist; er vereinigt sich alsbald mit einem Zweige des laryngeus inferior, der nicht selten schon ganz nahe der Abgangstelle dieses Nerven vom Vagustamm gesondert verfolgt werden kann.

Erreicht wird dieser Zweig, indem man zuerst den N. laryngeus sup. aufsucht und ihn bis zu seinem Verschwinden hinter dem Horne des Schildknorpels verfolgt; dieses Horn und auch ein Stück des Schildknorpels wird gespalten (wie in der Zeichnung) und die Schnittränder von einander entfernt. Man sieht dann die Theilung des Laryngeus sup. in zwei Zweige, von denen man den nach unten umbiegenden auf einen Faden nimmt, durchschneidet und sein centrales Ende reizt.

Reizt man seinen zu dem Larygeus inferior tretenden Stumpf, so erhält man zwar auch eine Pulsverlangsamung, sie ist aber wie bei Reizung anderer sensibler Nerven von einer Drucksteigerung begleitet.[1]) Diese Versuche sind bis jetzt nur an Hunden ausgeführt worden.

Auf die beschleunigenden Herznerven lassen sich, unseren jetzigen Erfahrungen nach, reflectorische Erregungen nur hervorrufen von den centralen Enden einiger Zweige, welche von dem letzten Halsganglion abgehen und vielleicht auch von einigen reinen Muskelnerven, wie z. B. den Zweigen, welche vom N. ischiadicus direct in die Muskeln des Oberschenkels treten.

§ XIII. Versuche über Gefässnerven.

Sämmtliche Versuche über die Nerven, welche die Gefässlumina beherrschen, haben zum Zwecke entweder die unmittelbaren Wirkungen ihrer Lähmung und Erregung oder die reflectorisch in ihnen erzeugten Effecte zu beobachten.

Die Mittel, welche die Physiologie besitzt, um die Wirkungen und Zustände dieser Nerven zu beobachten, sind entweder directe: Beobachtung und Messung der Gefässlumina mit dem blossen Auge oder dem Mikroskope, oder indirecte: wie die Untersuchung der Folgen, welche Reizungen und Lähmungen solcher Nerven zu erzeugen vermögen: Veränderung der Temperatur, des Volums und der Farbe der Organe, Schwankungen des Blutdrucks, der Geschwindigkeit des Blutstromes, Veränderung der Blutfarbe u. s. w.

Die Berechtigung der directen Messungen braucht natürlich nicht weiter discutirt zu werden. Nur die Zulässigkeit der indirecten Methoden bedarf einer besondern Begründung. Was zuerst die Temperatur der einzelnen Organe oder des ganzen Körpers anbelangt, so steht sie in so intimer Abhängigkeit von dem Lumen der Blutgefässe, dass man aus ihren Schwankungen mit grosser Gewissheit auf die Veränderung dieser Lumina Schlüsse zu ziehen berechtigt ist. Die Temperatur der einzelnen Organe wird hauptsächlich von zwei Momenten bedingt: von der Temperatur des sie durchströmenden Blutes und von der Temperatur des sie umgebenden Mediums. Das Verhältniss zwischen der Einnahme an Wärme durch die Blutzufuhr und der Ausgabe durch Abkühlung bestimmt vorzugsweise den Wärmegrad eines Organs. Die Blutzufuhr greift aber in doppelter Weise in die Grösse dieser Einnahmen ein: erstens dadurch, dass sie grössere Mengen noch nicht abgekühlten Blutes liefert, und zweitens, weil durch dieselbe die chemischen Processe, welche die Hauptquelle der Wärmeentwickelung im thierischen Organismus sind, gesteigert werden können. Bei gleichbleibender Temperatur des umgebenden Mediums muss also die Temperatur eines Organs durch verstärkte Blutzufuhr erhöht, durch verminderte erniedrigt werden.

Das Gesagte kann aber mit grosser Strenge nur für die oberflächlich gelegenen, also der Abkühlung am meisten ausgesetzten Organe gelten. In den inne-

---

1) Der Depressor beim Kaninchen besteht nicht gar selten aus zwei gesondert verlaufenden Fädchen; vielleicht ist der eine ein Zweig des Laryngeus sup., der auf den Vagus reflectorisch erregend, der andere vom Vagus abgehende, der auf das Gefässcentrum reflectorisch hemmend wirkt. In anderen Fällen (s. die Fig. 2 Taf. XIV) besteht der Halssympathicus aus zwei Fädchen, während der Depressor nur einen Stamm erkennen lässt.

ren vor Abkühlung geschützten Organen wird die Temperatur (beim sonst gesunden Thiere) immer die höchste, im gegebenen Augenblicke im Körper vorhandene Temperatur des Blutes besitzen, mit der einzigen Einschränkung, welche von der Intensität chemischer Processe in einigen thätigen, drüsigen Organen etwa vorübergehend bedingt sein kann. Diese höchste Temperatur des Blutes wird aber ihrerseits in hohem Grade von den Abkühlungsverhältnissen an der äusseren Fläche abhängig sein. Dies sagt nun soviel, dass man aus Erniedrigungen und Erhöhungen der Temperatur innerer Organe nicht immer auf die Stärke der zu ihnen stattfindenden Blutzufuhr schliessen darf; da die Lebhaftigkeit des peripheren Kreislaufs, sowie die äussere Temperatur hier mit bestimmend sind.

Für peripherisch gelegene Organe dagegen können die Temperaturschwankungen wirklich als ein Maass für die Stärke der Blutzufuhr betrachtet werden. Man darf aber, um solche Schwankungen richtig verwerthen zu können, nicht ausser Acht lassen, dass sie nur dann ihre volle Beweiskraft erlangen, wenn sie gleichzeitig mit den Schwankungen der Bluttemperatur innerer Organe verglichen werden; denn auch bei unverändertem Blutzufluss zu einem äusseren Organe kann ja seine Temperatur bedeutende Schwankungen erleiden, wenn die Bluttemperatur überhaupt verändert wird.

Um aber auch ganz sicher zu sein, dass die Abkühlungsverhältnisse der beobachteten Gegend nicht durch irgend welche äussere Umstände bedingt sind, ist es auch erforderlich, gleichzeitig die Temperatur der entsprechenden Gegend auf der andern Körperhälfte zu beobachten; wobei als selbstverständlich vorausgesetzt wird, dass die beiden Gegenden in möglichst analoge Verhältnisse gebracht worden sind.

Um also nach der Temperaturschwankung irgend eines äusseren Körpertheils mit Bestimmtheit auf eine veränderte Blutzufuhr schliessen zu können, ist es nothwendig, gleichzeitig die Bluttemperatur eines inneren Organs (am besten der Rachenhöhle oder des Rectums) und die des betreffenden Körpertheils der andern Seite zu bestimmen. Da die Schwankungen der Temperatur in gleichem Sinne mit denen der Blutzufuhr geschehen, so ist deren Deutung sehr einfach: verstärkte Blutzufuhr erzeugt erhöhte Temperatur und umgekehrt. Da aber die Blutzufuhr zu einem Organ vergrössert werden kann, entweder durch Zunahme der Triebkräfte des Blutstroms oder durch Abnahme der localen Widerstände, so kann auch die Deutung der beobachteten Temperaturschwankungen, bei Berücksichtigung der gesetzten Versuchsbedingungen, keine Schwierigkeiten bieten.

Die Messungen der Temperaturschwankungen geschehen entweder mit Hilfe der Hautempfindungen oder mit Thermometer und Thermomultiplicator. Da die Grenzen solcher Schwankungen nicht diejenigen überschreiten, welche dem Temperatursinne der Haut zugänglich sind, so ist man vollkommen berechtigt, beim Studium der Gefässnerven sich des Hautgefühles in den Fällen zu bedienen, wo die Grösse der Temperaturschwankung genügen kann, um durch Erregungen der Hautnerven deutliche Empfindungen hervorzurufen.

Da die Feinheit des Hautgefühls nicht auf beiden Händen gleich ist, so muss man bei Vergleichung der Temperatur zweier Stellen nur dieselbe Hand verwenden, indem man abwechselnd die eine oder die andere Stelle mit derselben betastet.

Für feinere Temperaturschwankungen und für die Fälle, wo ihre absoluten Grössen gewonnen werden sollen, ist nur das Thermometer oder der Thermomultiplicator verwendbar.

Die Schwankungen der Temperaturen, welche bei Lähmungen und Reizungen der Gefässnerven entstehen, sind meistens intensiv genug, um mittelst des Thermometers constatirt werden zu können; man wird daher nur ganz selten (z. B. beim Studium der Gefässnerven der Schädelhöhle) gezwungen, zum Thermomultiplicator zu greifen. Wir verweisen daher bezüglich der Technik der Temperaturmessungen dieser letzteren Art auf das fünfte Capitel. Gebraucht man für solche Messungen Thermometer, so muss man nur solche verwenden, welche folgenden Bedingungen Genüge leisten:

1. Ihre Quecksilberkügelchen müssen genau von dem untersuchten Körpertheil umschlossen werden können.
2. Sie müssen mindestens in Zehntheile von Graden eingetheilt sein und
3. zuerst mit einem Normalthermometer corrigirt und dann unter einander verglichen werden. Solche Controlvergleiche müssen aus bekannten Gründen von Zeit zu Zeit wiederholt werden[1].

Man stelle auf diese Weise Tabellen zusammen, welche die Gleichungen der verschiedenen Quecksilberstände direct angeben. Ist die zu untersuchende Gegend von Haaren bedeckt, so müssen dieselben zuerst sorgfältig entfernt werden.

Die Beobachtung der Gefässnervenwirkungen durch Zu- oder Abnahme des Volums der Organe ist nur bei einigen Drüsen deutlich genug zu machen. Wo dies aber möglich ist, wie z. B. bei der Milz, da bieten solche Volumveränderungen ganz schätzenswerthe Hinweise auf den gegebenen Zustand der Gefässlumina[2]. Dagegen können die Farbenveränderungen einzelner Organe das Erröthen oder das Erblassen viel häufiger als sehr gutes Kennzeichen des Zustandes der Gefässlumina benutzt werden. Diese Veränderungen sind gewöhnlich bei allen Lähmungen oder Erregungen von Gefässnerven deutlich genug ausgeprägt.

Ludwig und Thiry können mit Recht als die Ersten betrachtet werden, die in ihrem ganzen Umfange die Bedeutung gewürdigt haben, welche den Blutdruckschwankungen als Maass für die Veränderungen der Durchmesser in den Gefässen zukommt. Für die Beobachtung schnell vorübergehender Verengerungen und Erweiterungen der Gefässe, wenn sie sich auf grössere Bezirke erstrecken, ist die manometrische Druckmessung allein im Stande, brauchbare Angaben zu liefern. Sie ist aber auch für länger anhaltende Veränderungen der Gefässlumina unbedingt den andern Beobachtungsmethoden überall da vorzuziehen, wo diese Veränderungen im grossen Bezirke des Gefässsystems gleichzeitig vor sich gehen. Die Beziehung der von den Druckvariationen gelieferten Angaben auf die Zustände der Gefässnerven bietet bei unserm jetzigen Kenntnissen über die Wirkungsweise dieser Nerven weder keine Schwierigkeiten.

---

[1] Ueber eine ganz vorzügliche Art, solche Beobachtungen mit grosser Genauigkeit zu machen, siehe im Nachtrage die Methode von Mosso.

[2] Wie solche Beobachtungen in exacter Weise zu machen sind, ist schon im § IX bei Beschreibung des Plethysmographen besprochen worden.

Die Messung der Stromesgeschwindigkeit zum Zwecke, über ähnliche Veränderungen Aufschlüsse zu erhalten, ist eigentlich das rationellste und richtigste Verfahren, da jede Erweiterung oder Verengerung des Stromgebietes sich sofort durch entsprechende Schwankungen der Stromesgeschwindigkeit kundgeben muss.

Wie wir aber gesehen haben, ist die Technik solcher Messungen mit ziemlichen Schwierigkeiten verbunden und geben dieselben ausserdem nicht immer absolut genaue Resultate. Wenn es sich ausserdem um Beurtheilung von Gefässnervenwirkungen auf den gesammten Blutstrom handelt, so tritt noch eine neue Schwierigkeit hinzu. Die verschiedenartigen Einflüsse, von welchen die Stromesgeschwindigkeit noch sonst abhängig ist, der Antagonismus, welcher zwischen den Geschwindigkeiten der innern und äussern Blutgefässe wegen der dominirenden Rolle der Nn. splanchnici besteht — erschwert in solchen Fällen in hohem Grade die Beziehung der durch Messung dieser Geschwindigkeiten erhaltenen Werthe auf die Lumenveränderungen der Gefässe.

Alle diese Umstände bewirken, dass solche Messungen nur in sehr seltenen Fällen zu dem Zwecke vorgenommen werden, um über den Zustand der Gefässlumina Aufschluss zu erhalten; am häufigsten verfolgen solche Versuche das entgegengesetzte Ziel, nämlich zu ermitteln, wie sich die Geschwindigkeit bei gewissen Lumenveränderungen der Gefässe verhält.

Dagegen sind solche Messungen beim Studium der localen Gefässnervenwirkungen an beschränkten Bezirken (wie z. B. in den Versuchen von W. Sadler), besonders wenn die Gefässe auch sonst dem Auge wenig zugänglich sind — sehr zu empfehlen. In diesen Fällen führt man diese Bestimmungen am besten in der Weise aus dass man direct die ausfliessenden Blutvolumina misst. Das von Ludwig jetzt dazu benutzte Verfahren, eine weitere Verbesserung des von Slaviansky benutzten (siehe § IX), eignet sich für solche Fälle ganz vorzüglich.

Sollen auch bei allgemeinen Veränderungen der Gefässlumina die Schwankungen der Blutgeschwindigkeit als Maass benutzt werden, so eignet sich dafür auch sehr gut der Chauveau'sche Haemodromograph; die Gründe sind aus den oben beschriebenen Eigenschaften dieses Apparates einleuchtend.

Cl. Bernard hat zuerst auf Veränderung der Blutfarbe als Zeichen veränderter Blutzufuhr aufmerksam gemacht, indem er zeigte, dass bei Beschleunigung des Blutstroms durch Erweiterung der Gefässe das Blut hellroth aus den Venen der Drüsen fliesst. Wegen der grossen Stromesschnelle findet das Blut nämlich keine Zeit, beim Durchgang durch die Drüsen (Gl. submaxillaris, Niere) seinen Sauerstoff in grösseren Mengen abzugeben. In gewissen Fällen können also auch solche Farbenveränderungen des Blutes als Merkmale für den gegebenen Erregungszustand der Gefässnerven benutzt werden.

Bei der Beschreibung der verschiedenen Versuche über Gefässnerven soll jedesmal angegeben werden, welche Methoden im gegebenen Falle ihre Verwendung finden können.

Wir wollen nun zu der Beschreibung der Operationsverfahren schreiten, welche für die Beobachtung der Gefässnervenwirkungen erforderlich sind, und wollen mit denjenigen beginnen, welche die Topographie des Gefässnervensystems zum nähern Objecte haben. Wir beginnen mit dem classischen Versuch Cl. Bernard's, um die Wirkung des Halssympathicus zu zeigen.

Dieser Nerv wird durch einen kleinen, $1\frac{1}{2}$ Finger. langen Hautschnitt, entsprechend dem innern Rande des Sternomastoideus, leicht gefunden (siehe im vorigen § die Auffindung des N. depressor). Die an ihm anzustellenden Versuche sind: 1. Unterbindung — momentanes Erblassen des betreffenden Gefässes; 2. Durchschneidung — starke Erweiterung sämmtlicher Ohrgefässe, besonders der in der Mitte des Ohres der Länge nach verlaufenden Arterie; Hervortreten vieler kleiner, früher unsichtbar gewesenen Gefässe; Temperaturerhöhung des Ohres schon durch Berührung mit der Hand leicht zu constatiren. Dieselben Erscheinungen auch an den andern oberflächlichen Gefässen der entsprechenden Kopfhälfte (Haut, Schleimhäute, Auge etc.); 3. Elektrische Reizung des Kopfendes der durchschnittenen Nerven — Verengerung sämmtlicher Gefässe, bis zum vollständigen Verschwinden ihres Lumens, Erblassen des Ohrs und Sinken seiner Temperatur; diese Erscheinungen bedürfen einiger Zeit zu ihrem Erscheinen (latente Reizung) und halten einige Zeit nach dem Aufhören des Reizes an.

Um alle diese Erscheinungen an den Ohrgefässen leicht beobachten zu können, verbinde ich die beiden Ohren in der auf Fig. 1 Taf. VII angezeigten Weise und befestige den Faden an den Stab, der den Kaninchenhalter trägt. Stellt man die Ohren gegen das Licht, so sind dabei sämmtliche Gefässe an beiden Ohren gut sichtbar, und sie leiden nicht die geringste Zerrung.

Die Kaninchen müssen dabei in die Bauchlage gelegt werden, nachdem man ihnen früher den Sympathicus blossgelegt und auf einen Faden genommen hat. Cl. Bernard verfährt, um die Wirkung des Hals-Sympathicus auf die Ohrgefässe zu zeigen, auch in der Weise, dass er ein Stückchen Ohrmuschel abträgt, um eine kleine Blutung zu erzeugen. Diese Blutung wird durch Trennung dieser Nerven verstärkt, durch Reizung geschwächt. Exstirpation des obersten Cervicalganglions, das man leicht in dem obern Winkel findet, welchen der Vagus mit dem Laryngeus bildet (Fig. 2 Taf. XIV), bewirkt dasselbe, was die Durchschneidung des Halsstammes, nur mit dem Unterschiede, dass die Folgen der Exstirpation gewöhnlich sehr lange anhalten und nach einigen Tagen sogar gesteigert werden; während die Folgen der Durchschneidung der Nerven unterhalb dieses Ganglions schon nach einem Tage fast vollständig verschwinden — ein Beweis, dass dieses Ganglion eine Quelle von Erregungen ist.

Es ist bei dieser Exstirpation durchaus nicht nothwendig, den M. stylohyoideus zu durchschneiden, wie es von Einigen gerathen wird. Es genügt, die Carotis und V. jugularis nach innen, den Vagus nach aussen zu ziehen, um das Ganglion ganz zu Gesicht zu bekommen. Beim Anfassen des Ganglion vermeide man, den Hypoglossus zu berühren.

Am ausgeprägtesten sieht man den Einfluss des Halssympathicus, wenn man ihn beim Pferde durchschneidet. Sämmtliche schon beschriebene Erscheinungen lassen sich hier auf der ganzen Kopfhälfte mit der grössten Leichtigkeit verfolgen. Die operirte Gesichtshälfte fängt ausserdem stark zu schwitzen an. Die Ausführung der Operation beim Pferde geschieht in derselben Weise, wie beim Kaninchen, und bietet sonst gar keine Schwierigkeiten.

Will man den Erfolg der Halssympathicus-Durchschneidung auf die in der vordern Schädelhöhle enthaltenen Theile studiren, so macht man an irgend einer Stelle des Frontalknochens eine Trepanationsöffnung und sticht in die grossen He-

misphären nadelförmige Thermoelemente ein. (Ueber die Trepanationsmethoden des Schädels siehe Capitel 6, über thermoelektrische Messungen Capitel 5.[1])

Will man die Wirkungen der Vasomotoren der oberen Extremität leicht demonstriren, so exstirpirt man auf die schon angegebene Weise das Ggl. stellatum der entsprechenden Seite, oder, noch einfacher, man durchschneidet den Plexus brachialis (Fig. 1 Taf. XXVI und Fig. 10 Taf. XVI) entweder oberhalb der Clavicula (Hautschnitt wie bei Präparation des letzten Halsganglion, nur etwas mehr nach aussen geführt, V. jugularis externa nach innen, M. scalenus nach aussen zu ziehen; die starken Wurzeln des Plexus sind dann nach aussen vom N. phrenicus oberhalb der Clavicula resp. der ersten Rippe an der Wirbelsäule leicht zu finden und zu durchschneiden) oder in der Achselhöhle neben der Art. axillaris (bei abducirtem Arme Durchfühlung der Art. axillaris, Hautschnitt drei Finger breit ihrer Länge nach, wobei die Nerven sofort sichtbar werden).

Um die Effecte dieser Durchschneidung zu beobachten, legt man Thermometer entweder in der Ellenbeuge bei stark flectirtem Vorderarme und zwischen den Fingern der Pfote, oder durch einen kleinen Hautschnitt im Unterhautzellgewebe an einer beliebigen Stelle der Extremität.

Zur glücklichen Ausführung einer subcutanen Exstirpation des Ggl. stellatum ohne Zerreissung der Art. vertebralis gehört eine ganz ungewöhnliche Sicherheit im Operiren und die genauesten anatomischen Kenntnisse.[2])

Will man an den Rr. communicantes dieses Ganglions oder an ihm selbst, oder etwa an den tiefer liegenden Brustganglien resp. ihren Aesten operiren, so verfährt man am besten auf die von mir geübte Weise folgendermaassen. Das curarisirte Thier wird in der Bauchlage mit etwas nach vorne geneigtem vorderen Körpertheile befestigt; diese Neigung erzeugt man am einfachsten, indem man unter den Brustkorb eine Unterlage bringt. Um die Scapula möglichst vom Brustkasten zu entfernen, wird die betreffende vordere Extremität die vordere Halsfläche vorbei an der entgegengesetzten Seite des Tisches befestigt. Sodann führt man in der Mitte zwischen dem inneren Rande der Scapula und den Proc. spinosi der Wirbel einen ergiebigen halbovalen Hautschnitt, dessen Convexität den Wirbeln zugewendet ist und dessen Ausbuchtung den unteren Winkel des Schulterblattes umgiebt. Darauf trennt man nach doppelseitiger Unterbindung den M. rhomboideus und gewinnt dadurch die Möglichkeit, die entsprechende Extremität noch mehr in der genannten Richtung herüberzuziehen und so das Schulterblatt ganz von dem Brustkasten zu entfernen. Die ersten Rippen liegen dann in ihrer hinteren Hälfte ganz frei vor. Jetzt entfernt man vorsichtig schichtweise die hinteren Dritttheile der Intercostalmuskeln zwischen den zwei ersten Rippen, zieht die Wirbelmuskeln durch einen starken Haken in die Höhe und schreitet zur subperiostalen Resection der hinteren Dritttheile der beiden ersten Rippen (oder nur der ersten Rippe, je nach dem Zwecke der Untersuchung). Für eine sorg-

1) Die Messung des intracraniellen Druckes durch Einfügung einer Platte in die Trepanationsöffnung und deren Verbindung mit einem Wassermanometer, wie es Einige für denselben Zweck gethan haben, kann wegen der bekannten Bedingungen dieses Druckes nur sehr vieldeutige Resultate geben.

2) Cl. Bernard's Verfahren für eine solche Exstirpation des Ggl. stellatum ist im 6. Capitel beschrieben.

fältige Isolation der Aeste des Ganglions sowie für ein sauberes Operiren an ihnen ist es von grossem Belang, die Pleura nicht zu verletzen; daher wird die Resection subperiostal gemacht. Das Periost wird auf die schon im zweiten Paragraphen dieses Capitels angegebene Weise von den Rippen abgeschält und die Rippen bis zu den Transversalfortsätzen der Wirbel resecirt. Führt man dann einen Faden unter den ersten Intercostalnerven, so kann man dann leicht, von diesem Nerven geleitet, zum Grenzstrang und von diesem zum Ggl. stellatum gelangen. Est ist dabei sehr zu empfehlen, um Collisionen mit den Vertebralgefässen zu vermeiden, das Ganglion von unten her aufzusuchen. Hat man das Ganglion einmal zu Gesicht bekommen, so bietet es weiter keine Schwierigkeiten, seine einzelnen Aeste herauszupräpariren und auf Fäden zu bringen. Wegen der grossen Anzahl dieser Aeste ist es nützlich, an jedem Faden ein Papierchen mit Nummer (noch besser ist, durchlöcherte nummerirte Blechplättchen zu diesem Zwecke zu verwenden) in der Weise zu befestigen, dass es nach Durchschneidung des Nerven an dem peripherischen Ende (im Verhältniss zum Ganglion) des Nerven hängen bleibt. Diese ganze Operation gehört zwar zu den schwierigsten der Experimentalphysiologie, lässt sich aber nach einiger Uebung mit grosser Sicherheit ausführen und kann noch zu anderen Versuchen über diese Nerventheile mit Erfolg gebraucht werden. Auf Taf. XXV giebt die Fig. 1 das Aussehen der Wunde mit der naturgetreuen Lagerung des Ganglions und seiner Aeste nach einer so ausgeführten Operation wieder. Fig. 2 zeigt gleichzeitig den weiteren Verlauf dieser Aeste.

Nach der Blosslegung dieser Nerven wird die betreffende Extremität wieder in die normale Lage gebracht, Thermometer in der schon gesagten Weise befestigt und die einzelnen Rami communicantes der Reihe nach in gewissen Intervallen durchschnitten.

Ein zweites Thermometer muss dabei an der entsprechenden Stelle der anderen Extremität und ein drittes in's Rectum oder in die Mundhöhle gebracht werden. Will man an dem Grenzstrang unterhalb der beschriebenen Stelle operiren, so verfährt man bis zum fünften Intercostalraum ganz auf dieselbe Weise; von dem fünften an ist das Verfahren, um das Schulterblatt zu entfernen, wegzulassen. Die Operation wird dadurch bedeutend erleichtert. Für alle Versuche über die Vasomotoren der Extremitäten wählt man am besten Hunde, da an den Rami communicantes der Kaninchen ein sicheres Operiren ungemein schwer ist. Um die Gefässnerven der unteren Extremität zu treffen, kann man auch entweder den N. ischiadicus oder Plexus lumbo-sacralis durchschneiden, oder die Ganglien, welche ihn mit Rami communicantes versehen, exstirpiren. Im Allgemeinen ist die erstere Operation, und zwar die Durchschneidung des Ischiadicus, wegen der bedeutend leichteren Ausführbarkeit bei Weitem vorzuziehen. Die Durchschneidung des N. ischiadicus geschieht in der Weise, dass man dem in der Bauchlage befestigten Thiere einen (bei Hunden) 3 Finger langen Hautschnitt macht, der von dem dritten Spinalfortsatze des Kreuzbeins schräg nach aussen und unten zu der Mitte des Acetabulumrandes geführt wird. Der untere Rand des Gluteus maximus wird nach oben und aussen gezogen, ebenso wie der viel stärkere Rand des Gluteus medius. Man sieht dann den N. ischiadicus am unteren Rande des M. pyriformis liegen, führt unter ihn eine gebogene Pincette oder Präparationsnadel und bringt ihn in bekannter Weise auf einen Faden. Schwieriger ist es, den

Plexus lumbo-sacralis zu durchtrennen (das Verfahren s. Cap. 6). Will man den Grenzstrang durchschneiden, ehe er an diesen Plexus Rami communicantes abgiebt, so geschieht dies am besten in den untersten Intercostalräumen.

Diese Durchschneidung kann entweder subcutan oder nach vorheriger Blosslegung ausgeführt werden. Wählt man die subcutane Durchschneidung, so geht man am besten im 10. oder 11. Intercostalraum ein, unterhalb des Abganges des Splanchnicus. Man verfährt dabei auf folgende Weise: Das mit Chloral oder Opium narkotisirte Thier (beim Hunde gelingt diese Operation leichter) wird in der Rückenlage ganz unbeweglich befestigt, wobei es rathsam ist, den mittleren Körpertheil noch durch besondere Schnüre zu fixiren, ein 1 Cm. langer Hautschnitt in dem erwähnten Zwischenrippenraume dicht an den Transversalprocessen gemacht und ein dünnes langes Messerchen, dessen oberer Rand etwas gebogen und nur an der concaven Seite mit Schneide versehen ist, oder ein Haken von der Form des in Fig. 11 Taf. II abgebildeten in der Weise in die Brusthöhle hineingeführt, dass ihre concave Seite den Wirbeln zugekehrt ist. Nachdem man mit einem solchen Instrumente die Muskeln der Wirbelsäule durchbohrt hat, wird seine concave Seite stark in die Vertiefung zwischen Wirbelkörpern und Rippen hineingedrückt und dann mit einem kräftigen Schnitt oder Ruck das Instrument herausgeholt. Man führt diese Operation am besten auf der rechten Seite aus, um der Aorta sicherer zu entgehen; der Operirende steht dabei am bequemsten auf der linken Seite des Thieres.

Der Erfolg solcher subcutanen Durchschneidungsversuche ist nicht immer ganz sicher, und zwar nicht etwa der fast immer zu vermeidenden Verletzung der grossen Blutgefässe wegen, sondern weil man nicht selten trotz der scheinbar vollkommenen Durchschneidung der betreffenden Theile doch den Grenzstrang nicht trifft. Der N. splanchnicus wird dagegen nicht selten mit durchtrennt.

Viel sicherer ist die vorherige Blosslegung des Grenzstranges zum Zwecke seiner Durchschneidung. Auch diese Operation wird am besten in den untersten Zwischenrippenräumen der rechten Seite ausgeführt. Nach Blosslegung des Zwischenrippenraumes werden die betreffenden Intercostalmuskeln abgetragen, der Intercostalnerv auf einen Faden genommen und als Leitung benutzt, um zum Grenzstrang zu gelangen. Die Muskeln der Wirbelsäule werden durch einen starken Haken bei Seite gezogen. Wenn es sich blos um Durchtrennung des Grenzstranges handelt, wird man selten gezwungen werden, dabei eine Rippe zu entfernen; kann man ohne solche Entfernung nicht zum Ziele gelangen, so resecire man sie auch subperiostal, um die Pleura nicht zu verletzen.

Wegen der Möglichkeit solcher Verletzungen ist es vortheilhaft, diese Operation an curarisirten Thieren auszuführen, bei denen die Lufteinblasungen künstlich gemacht werden.

Die Wirkungen solcher Operationen an den Gefässen der unteren Extremität werden in derselben Weise wie an der oberen mittelst Thermometer beobachtet, welche in den Kniebeugen oder zwischen den Fingern der Pfote befestigt werden.

Es erübrigt uns noch, die Versuche an dem wichtigsten Gefässnerven des Körpers, dem N. splanchnicus, zu beschreiben. Dieser die Eingeweidegefässe beherrschende Nerv spielt wegen des grossen Rauminhaltes dieser Gefässe bekanntlich eine so dominirende Rolle bei der Blutvertheilung, dass sein Erregungszustand

von dem grössten Einflusse auf den mittleren Blutdruck ist. Man kann daher seinen Einfluss nicht nur durch directe Beobachtung der Baucheingeweide (am besten des Mesenteriums und der Nieren), sondern auch durch manometrische Blutdruckbestimmungen in den von ihm nicht versorgten Gefässbezirken studiren, am bequemsten in der Art. carotis.

Sämmtliche Versuche nach dieser Richtung werden am Splanchnicus bei curarisirten Thieren angestellt. Man kann diesen Nerven auf verschiedene Weise an einigen Stellen seines Verlaufes zugänglich machen: in der Bauchhöhle mit oder ohne Eröffnung des Peritoneums, oder in der Brusthöhle. Anfangs wurde die Wirkung des Splanchnicus auf die Blutgefässe bei eröffneter Bauchhöhle studirt. Asp führte zuerst die, wenn auch für den Ungeübten etwas schwerere, aber doch bei Weitem elegantere Operationsweise ein, den Splanchnicus entweder von der Brust- oder Bauchhöhle aus ohne Eröffnung der Pleura- resp. der Peritonealhöhle aufzufinden.

Zur Aufsuchung des Splanchnicus bei eröffneter Bauchhöhle führt man in der Linea alba einen 5—6 Cm. langen Schnitt, von dem Processus xyphoideus beginnend, spaltet das Peritoneum, schiebt, um den linken Splanchnicus zu finden, den Magen nebst Därmen nach rechts und sucht die Aorta bald nach ihrem Eintritt in die Bauchhöhle auf. Der linke N. splanchnicus liegt dicht am linken Rande der Aorta abdominalis; man wählt zum Operiren dasjenige Stück dieses Nerven, welches sich zwischen der Durchbohrungsstelle des Diaphragmas und seinen Anastomosen mit dem an der vorderen Aortawand gelegenen Ggl. coeliacum befindet. Dieses Ggl. liegt etwa in der Höhe der Nebenniere. (Siehe auch die Fig. 4 Taf. XXV.) Die Hinterwand des Peritoneums wird mit einer etwas gekrümmten Präparationsnadel zerrissen, welche gleichzeitig den Faden trägt, der unter den Nerven geführt werden soll. Der rechte N. splanchnicus ist insofern etwas schwerer zu erreichen, weil bei seiner Aufsuchung die leicht zerreissbare Leber nach links geschoben werden muss.

Die Lage des rechten Nerven weicht insofern von der des linken ab, als er beim Eintritt in die Bauchhöhle etwas weiter von der Aorta entfernt liegt. Man findet auch ihn dicht oberhalb der Nebenniere. Bei mangelnder Uebung kann man sich damit helfen, dass man die Pars vertebralis diaphragmatis zerreisst und so die Splanchnici noch in der Brusthöhle aufsucht. Eine geringe Neigung des Körpers nach der betreffenden Seite hin genügt, um diesen Nerven der Reizung zugänglich zu machen; dazu einen Querschnitt durch die Bauchwände zu machen, wäre eine überflüssige Verletzung. Die Baucheingeweide müssen bei diesem Auffinden sehr schonend behandelt werden, namentlich vor Abkühlung, Vertrocknung und mechanischer Zerrung geschützt sein, da sonst die leicht erregbaren Gefässwände in einer Weise angegriffen werden können, welche die Wirkungen der Splanchnici bedeutend zu schwächen vermag.

Wir haben oben schon das Verfahren beschrieben, wie der Grenzstrang in der Brusthöhle aufzufinden ist. Ganz auf ähnliche Weise wird auch der Splanchnicus in der Brusthöhle aufgefunden und zwar am bequemsten bei subperiostaler Resection des hinteren Theiles der 11. Rippe in den beiden letzten Intercostalräumen. In der Bauchhöhle präparirte Asp den Splanchnicus auf folgende Weise. Wir lassen hier wörtlich seine Beschreibung dieses Verfahrens folgen:

„Bei günstiger Lagerung des Thieres und bei Benutzung kleiner Hunde gelingt es, den N. splanchnicus unmittelbar nach seinem Durchtritt durch das Zwerchfell zwischen den Schenkeln desselben aufzufinden. Als Führer dient die Vena lumbalis prima, die alsbald in die Augen fällt, wenn man gleich unterhalb der letzten Rippe die Scheide des grossen Lendenstreckers, und zwar unmittelbar neben ihrem Ursprung von den Querfortsätzen, durchschneidet. Sowie man die Vene aufgefunden hat, sieht man auch sogleich die zugehörige Arterie und den gleichnamigen Nerven. Für den Fortschritt der Operation gewährt es Bequemlichkeiten, die Arterie doppelt zu unterbinden und alsdann Nerv und Arterie zu durchtrennen. Die Vene verfolgt man sorgfältig gegen ihre Einmündung, hierbei trifft man sicher auf die Nebenniere, da die Vene regelmässig über dieses Organ hinläuft. Sowie die Nebenniere aufgefunden ist, zieht man dieselbe mit einem stumpfen Haken in die Wunde herein, ein Handgriff, der für die Thiere sehr schmerzhaft ist, weil er ohne die Zerrung des sehr empfindlichen und mit der Nebenniere zusammengehefteten Nerv. splanchnicus nicht ausgeführt werden kann. Hält ein Gehilfe die leicht bewegliche Nebenniere in der Wunde fest, so kann man mit zwei Pincetten den Ast des Splanchnicus aufsuchen, welcher in die Nebenniere geht; von ihm aus dringt man dann zum Stamm des Splanchnicus, wobei zu bemerken, dass dieser Stamm rechterseits unterhalb und linkerseits oberhalb der Nebenniere gegen die Darmgefässe hin verläuft. Bei einiger Vertrautheit mit der Anatomie der betreffenden Regionen und bei Unterstützung durch zwei geübte Gehilfen gelingt es sicher, den Nerven ohne Verletzung des Peritoneums vollständig zu durchschneiden. Ist dieses gelungen, so sind die Thiere gleich nach der Operation verhältnissmässig munter und die Heilung der Wunde, vorausgesetzt, dass man einige Sorgfalt auf die Behandlung derselben verwendet, geht gut von Statten.“ (S. Asp p. 132—133.)

Die Reihenfolge der bei den Splanchnicusversuchen auszuführenden Manipulationen ist:

1) Curarevergiftung und künstliche Respiration.

2) Vorbereitung der Arteria carotis zur schnellen Verbindung mit dem Manometer.

3) Präparation der Splanchnici.

4) Verbindung der Carotis mit dem Manometer und Gewinnung einer normalen Blutdruckcurve.

5) Unterbindung und Durchschneidung des einen Splanchnicus; Messung des Blutdruckes.

6) Reizung des peripheren Endes bei nochmaliger Blutdruckbestimmung.

7) Blutdruckcurve nach aufgehörter Reizung. Es können natürlich dabei auch gleichzeitig Reizungen der centralen Splanchnicusenden vorgenommen werden, um die bekannten Effecte zu erhalten.

Als Elektroden können hier ähnliche wie die von Ludwig für die Nn. accelerantes benutzten verwandt werden.

Zur Beobachtung der Splanchnicuswirkung auf die Blutgefässe wählt man am besten Kaninchen, da man bei Hunden oft auf Individuen stösst, bei denen die vasomotorische Kraft dieses Nerven bei Weitem nicht so bedeutend die der anderen übertrifft, dass seine Wirkungen auf den allgemeinen Blutdruck in eclatanter Weise hervortreten könnten.

Will man beim Frosche die Wirkung der vasomotorischen Nerven beobachten, so geschieht dies am besten in der Weise, dass man die Schwimmhaut des Frosches auf den Objecttisch des Mikroskops ausbreitet und dann entweder das Rückenmark direct oder nur die untersten vorderen Wurzeln oder endlich den N. ischiadicus mit elektrischen Strömen reizt. Schützt man die Schwimmhaut vor Vertrocknung und spannt sie nicht zu sehr an, so treten die Verengerungen und Erweiterungen der Gefässe sehr deutlich hervor. Es ist bei solchen Beobachtungen vortheilhafter, das Thier nicht zu curarisiren, da die sonst eintretenden rhythmischen Pulsationen, von peristaltischem Charakter, der Beobachtung hinderlich im Wege stehen.

Es erübrigt nur noch, über die Methoden zu berichten, welche zur Beobachtung sowohl des Gefässnervencentrums selbst, als der Bahnen dienen, welche die von ihm ausgehenden Erregungen einschlagen, um durch das Rückenmark und die vorderen Wurzeln zur Peripherie zu gelangen.

Man kann die Wirkung des vasomotorischen Centrums studiren, indem man es direct in der Schädelhöhle oder Wirbelcanal aufsucht. Um seine Wirkung hervortreten zu lassen, werden Trennungen der Medulla oblongata und der angrenzenden Hirntheile, directe Reizungen der unterhalb der Schnittflächen gelegenen Theile, oder endlich reflectorische Erregungen derselben von den sensiblen Nerven aus vorgenommen.

Man kann die für solche Versuche nothwendigen Operationen auf verschiedene Weise ausführen. Wie man aber dabei auch verfahren mag, immer ist es nothwendig, für die Erhaltung der künstlichen Respiration der Thiere zu sorgen, — da aus bekannten Gründen ohne künstliche Lufteinblasung das Thier bei solchen Schnitten in der Medulla oblongata am Erstickungstode zu Grunde gehen muss. Um die sehr störenden allgemeinen Krämpfe in den Skelettmuskeln zu vermeiden, welche die Reizung des peripheren Rückenmarkstumpfes hervorruft, ist es durchaus nothwendig, die Thiere vorher mit Curare zu vergiften.

Die Nn. vagi müssen vorher getrennt werden; dagegen ist eine Exstirpation der letzten Halsganglien, um die Wirkungen der Mitreizung der Nn. accelerantes zu vermeiden, überflüssig, da diese Herznerven von keinem Einflusse auf den Mitteldruck sind. Nur darf man natürlich die bei Rückenmarksreizung beobachtete Beschleunigung der Herzschläge nicht allein auf Rechnung der Blutdruckerhöhung schieben.

Sämmtliche bei dieser Versuchsweise im Gebrauch stehende Operationsmethoden lassen sich in folgende Gruppen eintheilen:

1) Subcutane Durchschneidung der betreffenden Rückenmarkpartien ohne Blosslegung derselben und Reizung des peripheren Stumpfes mittelst zweier zwischen den Halswirbeln eingebohrten Elektroden.

2) Trennung der Haut, *Beiseiteschieben* der Nackenmuskeln und Blosslegung und Entfernung der Membrana obturatoria.

3) Schichtweise *Abtragung* der Nackenmuskeln, welche diese Membran bedecken und Entfernung dieser letzteren.

4) Trennung der oberflächlichen Theile wie bei 2), Abschabung der an dem hinteren Bogen des ersten Halswirbels befestigten Muskeln, Entfernung dieses Bogens und Blosslegung des Markes in grösserer Ausdehnung.

Das erstere Verfahren ist natürlich das roheste; man kann es aber trotzdem

bei einer Versuchsdemonstration verwenden, im Falle es an Zeit gebricht, um zu den anderen Verfahren zu greifen. Man verfährt dann folgenderweise: Das Thier wird in der Rückenlage gelassen, der Kopf befreit und stark nach vorn gebogen; der Occipitalhöcker wird mit den Fingern aufgesucht und, in gerader Richtung von ihm nach unten fortschreitend, die Stelle durchgefühlt, an welcher der Rand des Occipitalloches liegt, sodann ein spitzes Messer durch die Membrana obturatoria hineingestossen bis zur hinteren Fläche der Wirbelkörper; ein paar Bewegungen mit dem Messer nach beiden Seiten hin genügen, um die Trennung des Markes zu vollenden. Das Messer muss dabei immer die verticale Richtung zur Längeachse der Wirbelsäule behalten, da bei seiner Schiefstellung leicht die Vertebralgefässe durchschnitten werden.

Die mit Bohrwindungen versehenen Elektroden (Fig. 10 Taf. IV) werden etwa in der Entfernung eines Wirbels von einander in die Wirbelbogen selbst oder in die Intercostallöcher eingebohrt.

Der elektrische Strom, den diese Elektroden zuleiten, wird erst nach deren Einbohrung geschlossen. Das Gelingen der Markdurchtrennung giebt sich durch starke Blutdruckverminderung, die erfolgreiche Anlegung der Elektroden — durch die Blutdruckerhöhung bei Stromesschluss kund.

Während man diese Operationen am Thiere ausführen kann bei blosser Umdrehung seines Kopfes, muss bei der folgenden schon das ganze Thier aus der Rücken- in die Bauchlage gebracht werden. Dem Thierkörper wird dabei durch eine Unterlage unter der Brust eine nach vorn geneigte Stellung gegeben, wodurch nach der ganz richtigen Angabe von Schiff Blutungen aus den Rückenmarksvenen bedeutend verringert werden.

Die vorderen Extremitäten werden nach vorne befestigt, dem Kopfe eine Stellung gegeben, bei welcher der Unterkiefer der vorderen Halsgegend stark genähert ist.

Da man schon vor dieser Umdrehung des Thieres seine Trachea mit dem Blasebalge und oft seine Carotis mit den Manometerröhren verbunden hat, so muss darauf geachtet werden, dass die Communicationen dieser Theile nicht gelöst oder verschlossen werden; man verhütet das am besten, indem man die Zwischenstücke der Verbindungsröhren ziemlich lang wählt und sie an die Haare des Thieres oder an seinem Kopfhalter unbeweglich befestigt.

Der Hautschnitt muss genau in der Mittellinie des Nackens etwas oberhalb des Occipitalrandes beginnen und bei Kaninchen 2—3, bei Hunden 3—5 Centimeter lang gemacht werden; etwaige Blutungen aus Hautgefässen werden sorgfältig gestillt, dann werden durch einige vorsichtige Schnitte in der Fascie, welche die beiderseitigen Nackenmuskeln verbindet, dieselben schichtweise von einander entfernt und durch starke Präparationshaken auseinander gehalten.

Auch bei diesen Schnitten muss man sich streng in der Mittellinie halten, weil man sonst leicht die geschlängelte Arterie verletzt, welche quer die Muskeln auf beiden Seiten kreuzt; ist für eine genaue geradlinige Haltung des Kopfes gesorgt, so bietet es keine Schwierigkeiten, mit dem Messer in der Mittellinie zu bleiben. Durch kräftiges Auseinanderziehen der getrennten Muskeln bekommt man bald die Membrana obturatoria zu Gesicht, welche den Raum zwischen Occiput und Atlas verschliesst; trägt man diese Membran, sowie die unter ihr liegende Dura mater ab, so hat man das verlängerte Mark frei vor sich.

Der Schnitt in's Mark muss in der Weise geführt werden, dass die Messerspitze nicht die Vertebralgefässe verletzt; dies wird erreicht, wenn man zur Durchschneidung Messer benutzt, deren Schneide etwa die Form der auf Taf. I Fig. 5 dargestellten besitzt. Wird ein solches Messer in genauer senkrechter Richtung in die Mitte des Markes gestochen und dann, dieselbe Richtung beibehaltend, nach beiden Seiten bis zu den Wänden des Vertebralcanals geführt, so meidet man die in der Tiefe und seitlich liegenden Gefässe, weil der hervorgewölbte Bauch der Schneide schon an den Knochen anhakt, ehe deren Spitze in die seitliche Vertiefung gelangen kann.

Denselben Effect erreicht man auch mit dem Messerchen, welches auf Taf. III in der Fig. 6 abgebildet und, wie wir später sehen werden, bei Rückenmarksdurchschneidungen jetzt am zweckmässigsten zu verwenden ist. Den in solchen Fällen benutzten Elektroden giebt man die in Fig. 9 Taf. IV dargestellte Form; die eine sticht man oberhalb, die andere unterhalb des Atlas in's Mark ein. Zweckmässig ist es, das Thier in derselben Bauchlage auch bei den ferneren Manipulationen zu lassen, weil man dann am saubersten die Reizung ausführen kann. Ist man aber durch irgend eine Störung, z. B. an den Arteriencanülen, gezwungen, das Thier wieder in die Rückenlage zu bringen, so thut man gut, die Elektroden durch Bindfaden in ihrer Lage zu befestigen.

Die Haken, welche die Muskeln auseinanderziehen, werden dabei in ihrer Lage gelassen.

Hat man bei der Marktrennung doch ein Vertebralgefäss verletzt, was sich durch eine sehr ausgiebige Blutung sofort kundgiebt, so stopft man einige starke Schwämme in die Wunde, nachdem man die Elektroden eingeführt hat, entfernt die Haken und zieht die durchschnittene Haut über diese Schwämme herüber. Der Versuch wird durch eine solche Blutung bei Weitem nicht immer unbrauchbar gemacht.

Eckhard legt das Mark in dieser Gegend in der Weise bloss, dass er ausser dem Längsschnitt der Haut noch zwei Querschnitte zur Basis der Ohrmuscheln führt, die hier liegenden Muskeln nach Unterbindung der schon erwähnten Arterien schichtenweise abträgt oder zur Seite schlägt. Bei der Führung der Schnitte durch die Muskeln wählt Eckhard die von den Occipitalnerven gegebenen Richtungen. Für den hier uns interessirenden Zweck ist eine solche Durchschneidung und Abtragung der Muskeln meistens nicht erforderlich. Nur wenn man Durchschneidungen des Markes in verschiedenen Höhen machen will, also den hinteren Bogen des Atlas entfernen muss, ist es zweckmässig, diese Operationsweise zu wählen. Obgleich man auch hierbei nicht selten mit der Auseinander schiebung der Muskeln zum Zwecke gelangen wird.

Die eben erwähnte Entfernung des hintern Theils des Atlas geschieht am besten mit der kreisrunden Seite der Knochensäge von Bernard (Taf. III Fig. 11); man sägt an beiden Seiten den Bogen durch und hebt ihn dann ab. Die Führung der Säge geschieht in der Weise, dass man sie in fast senkrechter Richtung an den Knochen anlegt und sie Bewegungen bleibt um eine in ihrem Mittelpunkte gehende Achse machen lässt Dieser Mittelpunkt bleibt dabei ganz unverrückt. Will man nicht den ganzen Bogen abtragen, sondern nur eine Oeffnung in

ihm ausbohren, so bedient man sich dazu des kleinen Ludwig'schen Trepans. (Fig. 6 Taf. II).

Soll dagegen das Gefässnervencentrum höher oben angegriffen werden, so kann man dies in doppelter Weise thun; entweder man sägt den untern Theil des Occipitalknochens weg und erweitert künstlich das Occipitalloch, oder man legt eine Reihe kleiner Trepanöffnungen an, die man paarweise neben der Mittellinie des hinteren Theils der Scheitelbeine und des Hinterhauptbeines hinter einander macht.[1]) Siehe solche Trepanationsöffnungen an der Hinterfläche des Kaninchenschädels auf Fig. 4 Taf. XXVI.

Durch diese Oeffnungen führt man sehr feine Messer ein, die man dann, in der Richtung von der Mittellinie nach aussen schneidend, in die Medulla hineinsticht. Indem man von den obern Oeffnungen anfängt und immer nach unten mit den Stichen fortschreitet, kann man die Stelle localisiren, deren Verletzung von vasomotorischen Effecten begleitet ist. Um auf diese Weise zur Medulla oblongata zu gelangen, muss natürlich theilweise das Grosshirn und immer noch das Kleinhirn mit verletzt werden. Verletzungen des Kleinhirns sollen aber nach Einigen von gar keinem Effecte auf die Vasomotoren sein. Eckhard dagegen beobachtete bei Kleinhirnverletzungen (und Reizungen?) ganz ausgesprochene Wirkungen auf Herz und Gefässe.

Eine genauere Bestimmung der Hirnstellen, welche von dem Messerchen getroffen werden, kann natürlich erst mit einiger Gewissheit an dem gehärteten ausgeschnittenen Gehirne festgestellt werden. Da man dabei ziemlich im Dunkeln operirt und je nach dem Winkel, welchen das Messer bei seiner Anfangsstellung mit der Schädeldecke bildet, schon beträchtlich verschiedene Hirntheile mit ihm trifft, so ist eine genaue postmortale Controle der durchschnittenen Stellen durchaus erforderlich.

Durch Wegsägung eines Stücks des Hinterhauptbeines und eine kleine Abhebung des Kleinhirns von der Medulla wird man vielleicht sicherer zum Zwecke gelangen können; das dafür erforderliche, viel schwierigere Operationsverfahren müsste aber erst sorgfältiger ausgearbeitet werden.

Die Reihenfolge der bei Versuchen am Gefässnervencentrum und seinen centralen Bahnen auszuführenden Handgriffe ist folgende:

1) Curarisirung der Thiere und künstliche Athmung, 2) Durchschneidung der Vagi und Depressores (beim Kaninchen) und eventuell Exstirpation der besagten Ganglia, 3) Einführung der Canüle in die Carotis und Verbindung mit dem Manometer; durch eine Klemmpincette oder Schleife wird die Communication zwischen ihnen vorläufig unterbrochen, 4) Umdrehung des Thieres und Blosslegung des Markes, 5) Entfernung der Klemmpincette oder Schleife und Aufschreibenlassen der Blutdruckcurven, 6) Trennung des Markes 7) Einführung der Elektroden und Schliessung des Stromes, 8) Unterbrechung der Rückenmarksreizung. Bei 6, 7 und 8 lässt man die Blutdruckcurve fortwährend zeichnen. Will man die Beschleunigung der Herzschläge wegschaffen, nachdem man den Effect der Rückenmarksreizung beobachtet hat, so muss man nach 8 die Carotis wieder abklemmen,

---

1) Ueber das beim Trepaniren nothwendige Verfahren s. Capitel 6.

das Thier umdrehen, die betreffenden Ganglia exstirpiren und von Neuem den Strom durch's Rückenmark durchlassen. Hat man die Elektroden früher gut befestigt, so braucht man nicht das Thier von Neuem in die Bauchlage zu bringen. Nur muss dafür Sorge getragen werden, dass die Elektroden unverrückt bleiben; operirt man am Kaninchen, so führt man sie durch das am Brette befindliche Fenster.

Vor der Trennung des Rückenmarks und nach derselben kann man auch bei Demonstrationen einen früher blossgelegten sensiblen Nerven reizen, um die reflectorischen Effecte dieser Reizung auf das Gefässnervencentrum zu erhalten.

Um die Bahnen der Gefässnervenfasern im Rückenmarke selbst zu studiren, muss man Durchschneidungen des Rückenmarks in verschiedenen Höhen und Tiefen vornehmen.

Im Capitel der speciellen Nervenphysiologie werden die dazu nothwendigen Handgriffe genau beschrieben.

Dort werden auch die Methoden angeführt, um für ähnliche Zwecke die Wurzeln des Rückenmarks freizulegen und zu präpariren.

Für die uns hier interessirenden Zwecke wählt man am besten Frösche, denen man die vorderen Wurzeln blosslegt und bei denen die Veränderungen der Gefässlumina auf die oben angegebene Weise beobachtet werden.

§ XIV. Reflexe der sensiblen Nerven auf die vasomotorischen. Beobachtung der gefässerweiternden Nervenwirkungen.

Reflectorische Erregungen von den sensiblen Nerven aus kann man bekanntlich durch Reizung beliebiger sensibler Nerven erhalten. Die zur Erhaltung allgemeiner reflectorischer Wirkungen auf das Gefässnervencentrum am häufigsten verwendeten Nerven sind der N. ischiadicus und der N. tibialis. Zur Beobachtung der localen reflectorischen Gefässnervenlähmungen wählt man nach Snellen, Schiff, Lovén u. A. am besten die n. auriculares und den N. dorsalis pedis (Zweig des N. peroneus). Wir haben schon oben die Präparationsweise des N. ischiadicus angeführt. Bei Versuchen mit manometrischen Blutdruckmessungen braucht man das Thier nicht aus der Rückenlage zu bringen, um zum Ischiadicus zu gelangen; es genügt zu diesem Zwecke, das betreffende Bein allein zu befreien und umzuwenden. Den N. tibialis kann man an mehreren Stellen seines Verlaufes mit Leichtigkeit herauspräpariren; am zugänglichsten ist er nahe beim Fussgelenk, etwas oberhalb des innern Malleolus. Ein kleiner Hautschnitt oberhalb desselben genügt, um diesen Nerven, der neben oder etwa unterhalb der Art. tibialis postica, zwischen dem M. plantaris und den Flexor digitorum communis liegt, blosszulegen. Beim Kaninchen kann er bei zu ausgiebigem Schnitt leicht mit dem N. peroneus verwechselt werden, da man wegen der Dünne der Achillessehne leicht auf die entgegengesetzte Seite zum Malleolus externus herübergeht. Es ist daher dem Ungeübten zu empfehlen, beim Kaninchen den N. tibialis etwas höher aufzusuchen, zwischen Gastrocnemius lateralis und M. plantaris.

Der N. tibialis kann auch am untern Drittheil des Oberschenkels aufgesucht werden, wo er, mit dem N. peroneus durch dünnes Zellgewebe verbunden, neben der Art. poplitea zwischen M. semimembranosus und Biceps femoris gelegen ist. (Siehe diesen Nerven am Fussgelenke des Kaninchens auf Taf. XIV Fig. 3.)

Die N. auriculares anterior und posterior, welche Gegenstand der Reizung und Durchschneidung werden, sind am besten an der Ohrwurzel aufzufinden.

Die Lagerung des Kaninchens, welche sowohl für die Präparation dieser Nerven als für die Beobachtung der Ohrgefässe am geeignetsten ist, wird durch die Fig. 1 Taf. VII angezeigt. Ein ein paar Centimeter langer schiefer Hautschnitt, der von oben und hinten nach vorn und unten an der Ohrwurzel entlang geführt wird (etwa in der Höhe des Unterkieferwinkels), genügt, um nach Durchreissung des Bindegewebes den R. auricularis anterior (Lovèn), oder R. auricularis magnus Krause[1]), blosszulegen; der hintere Rand des Kopfnickers dient als Führung; man unterbindet und durchschneidet ihn gleich an der Stelle, wo er hinter diesem Muskel zum Vorschein kommt. Die erwähnte Figur zeigt seinen weiteren Verlauf an. Den R. auricularis posterior (Lovèn) findet man neben der Ohrwurzel an dem vordern stumpfen Rand des Ohres.

Die schönste und constanteste Erweiterung der Ohrgefässe erhält man bei Reizung des centralen Endes des N. auricularis magnus; nur wenn seine Reizung (was höchst selten passirt) keinen klar genug ausgedrückten Erfolg ergiebt, geht man zu dem N. occipitalis minor (R. auricularis posterior Lovèn) über.

Dagegen erhält man die von Schiff beschriebene Verengerung dieser Gefässe am leichtesten durch Reizung des peripheren Stumpfes dieses letzteren Nerven.

Um den N. dorsalis pedis (Fig. 3. Taf. XIV.) (Fortsetzung des N. peroneus) zu finden, genügt es, einen kleinen Hautschnitt an der äussern vordern Seite des Fussgelenkes zu machen; der Nerv verläuft hier, auf den Sehnen der Peroneimuskeln gelegen, schief von aussen nach innen; er sieht etwas graulich aus und ist plattgedrückt. Die bei seiner Reizung zu beobachtende Erweiterung betrifft bekanntlich die Art. saphena. Dieser Ast (ein Zweig der Art. cruralis, welcher abgeht, ehe diese Arterie die Adductoren durchbohrt) liegt an der innern Seite des Oberschenkels und lässt sich leicht durch die Haut durchfühlen. Er ist von zwei Venen beiderseits umgeben und von seinem vasomotorischen Nerven, dem N. saphenus, begleitet. Der zu seiner Entblössung erforderliche Hautschnitt wird etwa in dem untern Drittheil des Oberschenkels begonnen und über die Kniebeuge hinweg etwa 1—2 Centimeter weiter geführt. Man darf diese Arterie erst entblössen, nachdem der N. dorsalis pedis schon auf den Faden genommen ist; bei dieser Entblössung darf dieses Gefäss wegen der grossen Empfindlichkeit seiner Wände nicht mit den Instrumenten berührt werden; von Zeit zu Zeit bedeckt man ihn mit der Haut, um ihn vor Vertrocknen zu schützen. Dass der ihn begleitende N. saphenus geschont werden muss, versteht sich von selbst. Bei einer schachen Flexion im Kniegelenke lässt sich sowohl die Erweiterung als auch das Pulsiren dieser Arterie bei der Nervenreizung am besten beobachten.

---

1) Die von Lovèn gewählten Bezeichnungen anterior und posterior könnten eher zwischen diesen beiden Nerven umgetauscht werden, da der vom zweiten Cervicalnerven entspringende Lovèn'sche Auricularis posterior etwas mehr nach vorn liegt, als der vom 2.—3. Cervicalnerven kommende anterior; daher mag es gekommen sein, dass Krause den Lovèn'schen posterior für den anterior genommen hat und ihn als Occipitalis minor bezeichnet. Passender wären für diese beiden Nerven die Krause'schen Bezeichnungen zu behalten: Auricularis magnus für den Lovèn'schen anterior und Occipitalis minor für seinen posterior.

Da die Art. saphena magn. an der innern Seite des Oberschenkels, der N. dorsalis pedis aber an der äussern des Unterschenkels liegt, so ist es bequem, wenn man sowohl den Nerv ganz isolirt reizen, als auch die Arterie genau beobachten will, den durchschnittenen Nerven hinter der Achillessehne nach dem innern Malleolus hervorzuziehen; man macht dazu an dieser Stelle einen Hautschnitt wie bei Präparation des N. tibialis. Das flectirte Bein wird im Pfannengelenk stark nach aussen rotirt und gleichzeitig abducirt und in dieser Stellung von einem Assistenten festgehalten.

Die Eweiterung der Gefässe in Folge von Reizung sensibler Nerven lässt sich am besten an uncurarisirten Kaninchen zeigen. Wird Curare verwendet, so muss die Athmung sehr ergiebig sein, um nicht eine CO_2-Anhäufung im Blute zu gestatten, sonst treten besonders in der Art. saphena sofort peristaltikartige Contractionen der Gefässwände ein, die weder durch Reizung sensibler Nerven noch durch Durchschneidungen ihrer Vasomotoren wegzuschaffen sind. Der Versuch misslingt fast immer, sobald diese Bewegungen, welche leicht für rhythmische Pulsationen gehalten werden können, nur einmal aufgetreten sind.

Zur Demonstration der erweiternden Effecte, welche die Erregung peripherer Stümpfe gewisser Nerven auf die Gefässstämme zu erzeugen vermag, wählt man die Nn. erigentes und die Chorda tympani. Ueber die Präparationsweisen sowie über die Beobachtungsmethoden ihrer Wirkungen siehe Cap. 4. und 6.

In diesem letzteren sind auch die Methoden angeführt, um die vasomotorische Reflexe auslösenden Nervenfasern im Rückenmarke zu verfolgen. (Mischer, Navrocki.)

Die bei Reizung sensibler Nerven auftretenden vasomotorischen Effecte können entweder direct an den betreffenden Gefässen selbst oder mit Hülfe von Manometern, Stromuhren etc. beobachtet werden. Sind die eintretenden Effecte nur auf einem begrenzten Gebiete sichtbar, so begnügt man sich mit blosser Augenmessung der Gefässlumina, bei mehr allgemeinen Effecten greift man zu messenden Apparaten.

Die hierher gehörigen Versuche können vielfach variirt werden, sowohl indem man die nervösen Centraltheile durch Anhäufung von CO_2 oder O im Blute, durch Vergiftungen der Thiere mit die Gefässnervencentra stark afficirenden Giften, wie Chloralhydrat u. a. lähmt, als auch durch Abtragungen gewisser Centraltheile (Grosshirn, Theile der Medulla oblongata), vorherige Durchschneidungen der Herznerven u. s. w. Die Ausführungsweise aller dieser Versuchsmodificationen wird nach dem schon beschriebenen Operationsverfahren keine Schwierigkeiten bieten und bedarf wohl kaum noch specieller Beschreibungen. Man behalte nur bei Versuchen dieser Art stets die grossen Schwierigkeiten im Auge, welche der Deutung der bei solchen complicirten Versuchsbedingungen erhaltenen Resultate entgegenstehen. Man hat bei jeder einfachen Reizung sensibler Nerven schon mit mehreren Factoren zu thun, die theilweise in ganz entgegengesetztem Sinne auf den allgemeinen Blutdruck, auf die Geschwindigkeit des Blutstroms, auf die Zahl der Herzschläge u. s. w. einwirken. Um nur das einfachste Beispiel zu wählen: eine solche Reizung erzeugt beim normalen Thiere eine erhöhte Erregung des Gefässnervencentrums — also Erhöhung des Blutdruckes in Folge vermehrter Widerstände für den Blutstrom; gleichzeitig wird aber das Vaguscentrum dadurch erregt, der Herzschlag also verlangsamt, der Erhöhung des Blutdrucks wird also

von dieser Seite her entgegengewirkt. Die Erregung der Vagi geschieht ihrerseits dabei von zwei Seiten her, erstens durch directe reflectorische Erregung ihres Centrums, zweitens durch die erfolgte Blutdruckerhöhung, welche sowohl die centralen als die peripheren Enden dieser Nerven zu erregen vermag.

Durch alleinige Durchschneidung der Vagusstämme wird daher der den Druck herabsetzende Einfluss dieser Nerven nicht ganz weggeschafft. Man muss zu Atropinvergiftungen u. s. w. seine Zuflucht nehmen. Die Blutdruckerhöhungen sowohl als die Erregungen vieler sensiblen Nerven erregen aber gleichzeitig auch die beschleunigenden Herznerven — wodurch die Herzthätigkeit wieder bedeutend modificirt wird.

Die allgemeine Verengerung der Gefässe tritt bei Reizung sensibler Hautnerven gleichzeitig mit localen Erweiterungen der Gefässe ein, welche zum anatomischen Bezirk dieser Nerven gehören — dies ist wieder eine Quelle von Verwickelungen für den Fall, dass man den Blutdruck oder die Blutgeschwindigkeit in diesen Gefässbezirken misst. Der Antagonismus, welcher bei der Blutvertheilung zwischen den vom Splanchnicus beherrschten Gefässbezirken und den an der Peripherie gelegenen Gefässen besteht, macht es, dass der Effect solcher Reizungen in verschiedenen Theilen des Gefässsystems ganz verschieden sein kann. Rechnet man noch die individuellen Verschiedenheiten, welche sich oft sehr stark geltend machen, und die vielen ganz unbekannten Erregungszustände der Gefässnerven hinzu, so wird man eine Einsicht in die Schwierigkeiten erhalten, die sich der Deutung solcher Versuche in den Weg stellen.

Nur bei einem vollen und richtigen Ueberblick über alle bei der Blutcirculation mitwirkenden Factoren, und über ihre gegenseitigen Abhängigkeiten ist eine fruchtbringende Experimentation auf diesem Gebiete möglich. In den speciellen Untersuchungen derjenigen Forscher, welche im Besitze eines solchen klaren Ueberblicks waren, wird man die belehrendsten Beispiele finden, wie solche Studien geführt und verwendet werden müssen. —

§ XV. Beobachtungsmethoden der Respirationseinflüsse auf die Circulation.

Die Athmung kann bekanntlich auf sehr verschiedenartige Weise in die Circulation eingreifen, und zwar durch mechanische Einwirkung auf die in der Brusthöhle befindlichen Circulationsorgane, durch chemische Veränderungen des Blutgehaltes, welche sowohl die centralen als auch auf die peripheren Abschnitte des Gefässsystems angreifen, und endlich durch die reflectorischen Beziehungen der im Lungengewebe verzweigten Nervenfasern zu den Herz- und Gefässnerven. Die isolirte Beobachtung dieser Effecte gehört trotz ihres verschiedenen Ursprungs bei Weitem nicht zu den leichteren Aufgaben der Experimentalphysiologie. Man beobachtet bekanntlich an den Blutdruckcurven ausser den Pulsationswellen noch zwei Arten wellenartiger Erhebungen; die kürzeren Wellen entsprechen den einzelnen Athembewegungen, die längern umfassen gewöhnlich 3—4 und oft auch mehr Athembewegungen. Diese letztern zuerst von Traube beschriebenen Schwankungen (wir wollen sie auch kurzweg die Traube'schen Wellen nennen) sind nicht immer gleich stark ausgedrückt und treten besonders deutlich hervor, wenn bei Curarevergiftung die künstliche Respiration nicht ausgiebig genug gemacht wird, wenn also Bedingungen für eine CO_2-Anhäufung im Blute gegeben sind.

Um den Einfluss und die Abhängigkeit der Blutdruckschwankungen von der Respiration zu studiren, ist es nothwendig, die Athembewegungen gleichzeitig mit den Blutdruckcurven aufzeichnen zu können, um vorerst zu constatiren, welchen Phasen des Respirationsactes eine gewisse Schwankung des Blutdruckes entspricht. Die Methoden, die Athembewegungen aufzuzeichnen, sind im nächsten Capitel ausführlich beschrieben. Bei deren Benutzung ist es am besten, wenn man die Schreibfeder der Apparate, welche die Herz- und Athembewegungen aufzeichnen, so einstellt, dass die übereinanderliegenden Curvenstücke auf dieselbe Zeit sich beziehen.

Die meisten Beobachter stimmen mit Ludwig darin überein, dass das Maximum des Blutdrucks auf den Beginn der Exspiration, das Minimum auf den Anfang der Inspiration zu liegen kommt. Um die Abhängigkeit dieser Schwankungen von den Veränderungen, welche der Druck in der Thoraxhöhle bei den verschiedenen Phasen der Athmung erleidet, zu demonstriren, sind bekanntlich sehr viele Vorrichtungen vorgeschlagen worden. Auf Taf. XI Fig. 7 ist eine zu diesem Zwecke dienende Vorrichtung abgebildet, mit welcher sehr leicht der negative Druck veranschaulicht werden kann, welchen die Lungen bei ihrer Aufblasung auf das Herz und die grossen Blutgefässe ausüben.

In einer Glasglocke [1]) sind die zusammen mit dem Herzen ausgeschnittenen Lungen in der Weise aufgehängt, dass eine durch den Boden der Glocke durchgelassene mit Hahnvorrichtung versehene Metallröhre in die Trachea eingebunden ist. Durch eine andere Oeffnung im Boden der Glocke ist eine zweite Röhre luftdicht durchgelassen, welche einerseits mit der Vena cava superior, andererseits mit dem Manometer in Verbindung steht, das mit Wasser gefüllt ist. Die Vena cava inferior ist abgebunden. Der einfachste Versuch besteht darin, dass man die Lungen stark aufbläst und durch den Hahn die Verbindung der Lunge mit der atmosphärischen Luft abschliesst; sodann wird die Glasglocke, nachdem man ihren untern Rand mit Fett beschmiert, auf eine glatte Glas- oder Metallplatte luftdicht angedrückt und der Hahn wieder geöffnet: das Wasser in dem dem Herzen zugewendeten Schenkel des Manometers steigt um einige Mm. Der Grund hiervon ist einfach der, dass die Lunge in Folge ihrer Elasticität zusammenzufallen strebt und der auf diese Weise in dem abgeschlossenen Raume der Glocke erzeugte negative Druck den Vorhof etwas ausdehnt; dieser saugt daher Wasser aus dem Manometer. Zum Gelingen des Versuches ist es nothwendig, ein ganz frisch ausgeschnittenes Hundeherz zu nehmen, und das rechte Herz mit Wasser zu füllen, nachdem die Lungenarterie und V. cava inferior unterbunden sind.

Man kann ganz denselben Versuch auch in der Weise ausführen, dass man die zweite Oeffnung in der Glocke statt mit dem Vorhof mit einem dünnen Kautschukballon verbindet, der frei in die Luft mündet; bei Wiederholung desselben Versuchs sieht man den früher zusammengefallenen Ballon sich mit Luft füllen.

Um zu zeigen, dass auch die Lunge ihrerseits durch einen negativen Druck in der Brusthöhle gedehnt werden kann, verfährt man in der Weise, dass man statt

---

1) Die auf der Fig. 7 dargestellte Glocke ist in einen Cylinder eingelassen, wie es für die Demonstration der Lungenelasticität nöthig ist (s. nächstes Capitel); dieser Cylinder ist bei Versuchen für den hier behandelten Zweck natürlich wegzulassen.

der Lungen, diese Kautschukblase mit Luft stark ausdehnt und dann abschliesst. Schliesst man die Glocke luftdicht ab und öffnet diese Kautschukblase, währenddem die Lungen mit der Luft in Communication bleiben, so dehnen sich beim Bestreben der Blase zum Zusammenfallen die Lungen merklich aus.

Man kann diesen Versuch auch in einer den natürlichen Verhältnissen mehr entsprechenden Weise demonstriren, indem man die Glocke mit einer Luftpumpe in Verbindung bringt. Schliesst man die Oeffnung der Kautschukblase zu und lässt die Trachea in freier Verbindung mit der Luft, so dehnen sich bei der Luftverdünnung in der Glocke die Lungen beträchtlich aus.

Oeffnet man nun die Mündung der Kautschukblase, so dehnt sie sich momentan aus in Folge des Bestrebens der Lunge zum Zusammenfallen. Noch deutlicher ist der Effect, wenn man vorher bei verschlossener Trachea die Kautschukblase durch die Luftverdünnung unter der Glocke sich ausdehnen lässt, und dann die Trachea öffnet; die Kautschukblase fällt zusammen, währenddem die Lunge sich durch Aufnahme von Luft ausbläst.

Diese Versuche lassen sich leicht noch weiter variiren, indem man z. B. bei Verbindung des Vorhofs oder des Kautschukballons mit dem Manometer periodische Lufteinblassungen in die Lunge macht, um auf diese Weise die Druckschwankungen, welche in dem abgeschlossenen Raume entstehen, in ihrem Einflusse auf die Aspirationsstärke zu verfolgen.

(Die von Herrmann in seinem Lehrbuch angegebene, für denselben Zweck dienende Vorrichtung kann auch mit Nutzen bei solchen Demonstrationen verwendet werden.)

Wenn auch einerseits durch gleichzeitiges Registriren der Athem- und Herzbewegungen das Zusammenfallen der sogenannten Respirationswellen des Blutdrucks mit gewissen Stellungen des Brustkastens sich leicht nachweisen lässt, und andererseits auch die Nothwendigkeit der Entstehung solcher Druckschwankungen durch die Veränderungen der Druckverhältnisse in der Thoraxhöhle mit Hilfe der eben dargelegten Versuche unzweifelhaft gemacht werden kann, so ist doch der Beweis schwer zu führen, dass diese Veränderungen auch in der That die alleinigen Ursachen jenes Zusammenfallens sind. — Die Möglichkeit bleibt immer offen, dass entweder die Reizung der im Lungengewebe befindlichen Nerven reflectorisch die Gefässnervencentra periodisch erregt, oder dass auch die Schwankungen des Gasgehaltes des Blutes mit der Respirationsphase zusammentreffen und diese Centren periodisch zu erregen vermögen. Entscheidung dieser Fragen kann herbeigeführt werden durch Lufteinblasungen bei eröffneter Brusthöhle (Hering, Schiff), Einblasungen von CO_2 (Traube, Thiry u. A), künstliche Einblasungen oder natürliche Einathmungen von reinem Sauerstoff (E. Cyon), Durchschneidungen der Gefäss- und Herznerven u. s. w.

Alle diese Versuchsmittel sind auch zur Entscheidung dieser Fragen verwendet worden, aber bis jetzt noch mit keinem vollkommen entscheidenden Erfolg. Eine weitere Ausbeutung aller dieser erwähnten Hilfsmittel muss aber zu einem befriedigenden Resultate führen.

Ueber die Mittel, verschiedene Luftmischungen in die Lungen einzuführen, ist schon im ersten Capitel gehandelt worden.

Bei solchen Versuchen kann man gezwungen werden, mit Drücken von mehreren Atmosphären zu arbeiten, für welche natürlich ganz besondere Vorrichtungen erforderlich sind.

Die in der Medicin gebrauchten Apparate, um unter erhöhtem Luftdrucke athmen zu lassen, besonders die in letzter Zeit so verbreiteten Waldenburg'schen Apparate, können für solche Zwecke mit Erfolg benutzt werden.

Ueber die Methoden, die von den Lungennerven ausgehenden Reflexe, welche durch Ausdehnungen und Zusammenfallen des Lungengewebes entstehen, zu studiren, wird im nächsten Capitel gehandelt werden.

Um den Einfluss der Schwankungen des Drucks in der Thoraxhöhle auf den Blutdruck genauer zu studiren, hat Ceradini in Ludwig's Laboratorium ein sehr zweckmässiges Verfahren benutzt: in den Oesophagus wurde eine Kautschukblase, die mit einer schreibenden Vorrichtung in Verbindung gebracht war, eingeführt (durch eine Schnittöffnung am Halse). Bei den Lungenausdehnungen entstanden Schwankungen im Luftgehalt dieser Blase, welche dann gleichzeitig mit der Blutdruckcurve auf einer rotirenden Trommel verzeichnet wurden.

(Die interessanten Ergebnisse dieser Versuche sollen nächstens veröffentlicht werden.)

Bibliographie zu Capitel II.

§. I. Th. Young: Hydraulic investigations etc. Phil. Transactions 1808.
Volkmann: Haemodynamik nach Versuchen. Leipzig 1850.
Ludwig: Lehrbuch der Physiologie. 2. Bd.
Ludwig und Stefan: Wiener Sitzungsberichte 1858.
Donders: Physiologie Bd. I. Leipzig 1856.
Fick: Lehrbuch d. med. Physik. (Beide Auflagen.)
Valentin[1]): Physiologische Pathologie des Blutes. 1867.
E. H. und W. Weber: Wellenlehre nach Versuchen. Leipzig 1825.
Jacobsohn: Beiträge zur Haemodynamik. Arch. f. Anat. u. Phys. 1860.
Poiseuille: Ann. d. Chim. et Phys. 3me Série Bd. 7. Compt. rendus 1835—43.
Marey: Physiologie d. mouvement. Paris 1868.
§. II. Kürschner: Wagner's Handwörterbuch d. Physiologie.
Chauveau et Marey: Compt. rend. d. l. Soc. d. Biol. 1861. Compt. r. d. l'Acad. d. Sciences 1862 etc.
Marey: La Phys. med. de la circulation. Paris 1863.
Upham: Fissura Sterni congenita. Hamburg 1869.
Burdon-Sanderson: Handbook f. the physiological Laboratory.
Fick: Verhandl. d. Würzb. phys.-med. Ges. 1873.
Czermak: Wiener Sitzungsber. 1869. Der elektrische Doppelhebel. Leipzig 1870.
Garrod: Journal of Physiology. 1871.
Nüel: Pflüger's Arch. 1874.
Brondgeest: Arch. f. Holl. Beiträge. 1864. Unters. aus d. Utrecht. Laborat. v. Donders. 1874. (Holländisch.)
§. III. Czermak: Wiener Sitzungsber. 1869.
Ludwig und Dogiel: Arb. aus d. Physiol. Anst. z. Leipzig. 1867.
Ceradini[2]): Der Mechanismus der halbmondförmigen Klappen. Leipzig 1872.

1) Die Litteratur der speciellen Untersuchungen, welche sich auf die Hydraulik beziehen, findet sich fast vollständig in diesem Werk.
2) Enthält die vollständige Litteratur über die Herzklappen.

§. IV. Hales: Statik des Geblütes. Halle 1748. (Uebersetzung.)
Poiseuille: Journal d. Physiologie de Magendie 1829. etc.
C. Ludwig: Müller's Arch. 1847.
Cl. Bernard: Leçons sur les liquides d. l'org. Paris 1859.
Marey: La Physiologie de l. Circulation. Paris 1863.
M. und E. Cyon: Arch. v. Reichert und Du Bois-Reymond. 1867.
Setschenow: Zeitschr. f. rationelle Med. XII.
Herrmann: Pflüger's Arch. 1871.

§. V. Vierordt: Arch. f. phys. Heilkunde 1857. Lehre vom Arterienpulse. Braunschw. 1855.
Redtenbacher: ibid. 1858 und 1864.
Seebek: Rep. d. Physik v. Dove. VIII. Bd.
Mach: Wiener Sitzungsber. 1862 u. 1863.
Fick: Med. Physik. (Beide Auflagen.) Arch. v. Reichert und Du-Bois-Reymond. 1864.
Poiseuille: Gaz. hebdomad. 1868.
E. Cyon: Ueber d. Einfl. d. Temperaturänd. etc. Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig 1866 und Pflüger's Arch. 1873.
Asp: Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig. 1868.
Schummer: Vergleichende Prüfung der Pulswellenzeichner etc. Diss. Dorpat 1867.

§. VI. Poiseuille: l. c.
Volkmann: l. c.
Weltli: Wiener Sitzungsber. 1850.
Fick: l. c.

§. VII. Brondgeest: Arch. f. holl. Beitr. 1867.
Czermak: Mitth. aus d. Prager Privatlaborat. 1865.
Bowditch: Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig 1872.

§. VIII. E. Brücke: Denkschriften d. Wien. Akad. d. Wiss. 1852.
R. Remak: Casper's Wochenschrift. 1839.
C. Ludwig: Zeitschrift f. rat. Med. 1. Reihe.
Bidder: Müller's Arch. 1852 und 1866.
E. Cyon:
Coats:
Bowditch:
Luciani:
} Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig. 1866—1873.
Blasius: Arb. aus d. phys. Lab. zu Würzburg. 1. Lief. 1872.
Marey: Comptes rendus. 1873.
Kronecker: Beitr. z. Anat. und Physiologie (Ludwig's Jubelband). 1874.

§. IX. Waller: Compt. rendus. T. XLIII.
Vierordt: Die Gesetze der Stromgeschwindigkeiten. Frankf. 1858.
E. H. Weber: Müller's Arch. 1838.
Volkmann: l. c.
Hering: Tiedemann's Zeitschrift f. Physiologie. Bd. III. u. V.
Chauveau, Bertoly et Larroyenne: Journal d. Physiologie. 1860.
Chauveau: Arch. gén. d. méd. 1861.
Lortet: La vitesse etc. Thèse. Lyon 1867.
Dogiel: Arb. aus d. phys. Anat. zu Leipzig. 1867.
E. Cyon und Steinmann: Die Blutgeschwindigk. in d. Venen. Bull. de l'Ac. d. Sciences de St. Pétersb. 1871.
Fick: Unters. aus d. phys. Lab. d. Zürch. Hochschule. 1869.
Chelius: Prager Vierteljahrsschrift. 1850.
Poiseuille: Rép. gén. d. l'anatomie von Brechet. 1829.
Sadler: Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig 1869.
Slavjansky: Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig 1873.

§. X. King: Guy's Hospit. Rep. 1837. I. II. p. 107.
Herrisson: Lancet. 1834. Vol. I.

Chelius: l. c.
Scott Allison: Phil. Mag. and Journal of Science. Vol. XII.
Vierordt: Die Lehre vom Arterienpulse. Braunschweig 1855.
Mach: l. c.
Landois: Die Lehre vom Arterienpulse. Berlin 1872.
Berti: Gazz. lombarda. 1857.
Marey: Physiologie d. mouvement. Paris 1868. Compt. rendus d. l'Ac d. Sciences 1860.
Béhier: Gaz. hebdomadaire. 1868. Bull. d. l'Acad. d. Méd. 1868.
Garrod: l. c.
Foster: Gaz. hebdomadaire. 1868. Humphrey u. Turner's Journal. 1868.
Burdon-Sanderson: Med. Times a. Gaz. 1867.
Longuet: Bull. d. l'Ac. d. Méd. 1868.
Valentin: Phys. u. Path. d. Herzens und d. Blutgefässe. 1866.
O. Naumann: Zeitschrift f. rat. Med. 1863. Arch. f. phys. Heilk. 1869.
Czermak: Mittheil. aus d. phys. Privatlab. zu Prag. 1869.
Ozanam: Comptes rendus. 1867.
Klemenziewicz: Unters. aus d. phys. Lab. zu Graz. 1. Heft.
Landois: Pflüger's Arch. 1874.
Wittich: Bericht d. Naturforscher-Versammlung zu Hannover. 1865.

§. XI. Rosenberg: De centris motuum cordis etc. Dorpati 1850.
Stannius: Müller's Archiv. 1852.
Eckhard: Beiträge zur Anat. u. Phys. Bd. I. Experimentalphysiol. d. Nervensystems. 1867.
Goltz: Virchow's Arch. Bd. XXI. Arch. v. Reichert. 1863.
Luciani: Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig. 1872.
Friedländer: Untersuch. aus d. Würzb. Lab. herausg. v. Bezold. II. Heft.
Czermak: l. c.
E. Cyon: Ueber d. Einfluss d. Temp. etc. Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig. 1866.

§. XII. E. Cyon und Ludwig: Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig. 1866.
Ludwig und Thiry: Wiener Sitzungsber. 1864.
Bezold: Untersuch. üb. d. Innerv. d. Herzens. Leipzig 1863.
M. und E. Cyon: Reichert's und Du Bois-Reymond's Archiv 1867. Centralbl. 1866. Compt. rendus 1867.
Bezold und Bever: Unters. aus d. Würzburger Labor. 1867.
Schmiedeberg: Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig. 1871.
Coats: Ibid. 1870.
E. Cyon: Pflüger's Arch. 1874.
Cl. Bernard et Magendie: Comptes rendus B. XXIV. Cl. Bernard: Leç. s. l. système nerveux.
Goltz: Virchow's Arch. 1863. Centralbl. f. med. Wiss. 1863.
Bernstein: Reichert's und Du Bois-Reymond's Arch. 1864.
Asp: l. c.

§. XIII. Cl. Bernard: Comptes rendus. 1852—62.
Ludwig und Thiry: l. c.
Schiff: Comptes rendus 1862.
E. Cyon: Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig. 1868.
Basch: Wiener Sitzungsber. 1872.
Asp: l. c.
Eckhard: Beiträge zur Anat. und Physiologie.
Dittmar: Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig.
Vulpian: Leçons sur le système vasomoteur. Paris 1874.
Pflüger: Allg. med. Centralzeitg. 1855—56.

§. XIV. Snellen: Arch. f. holl. Beiträge. 1857.
Schiff, Comptes rendus. 1862.
Lovèn, Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig. 1866.

Krause: Anatomie des Kaninchens. Leipzig.
E. Cyon: Comptes rendus 1869. Bull. d. l'Ac. d. Sc. de St. Pétersb. 1871.
—— und Steinmnau: l. c.
—— Pflüger's Arch. 1873—74.
Heidenhain: ibid. 1872—74.
Mischer: Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig.
Navrocky: ibid.
§. XV. Ludwig: Müller's Arch. 1847.
Traube: Centralbl. f. med. Wiss. 1865. Gesammelte Abhandlungen. Berlin.
Hering: Wiener Sitzungsber. 1870—1871.
E. Cyon: Pflüger's Arch. 1874.
Herrmann: Lehrbuch der Physiologie.

DRITTES CAPITEL.

Athmung.

§ 1. Methoden, die Athembewegungen graphisch zu verzeichnen.

Trotzdem die Athembewegungen des Thieres dem Auge des Beobachters am leichtesten zugänglich sind und die Athmungsorgane auch ohne jede Verletzung des Thieres mit verschiedenen mechanischen Vorrichtungen verbunden werden können, ist es bis jetzt noch nicht gelungen, eine Methode zur Registrirung dieser Bewegungen zu finden, welche ihrer Vollkommenheit nach auch nur annähernd den bei der Circulation in Anwendung kommenden gleichgestellt werden könnte. Vollkommen wird ein Registrirapparat der Athembewegungen nur dann sein, wenn er nicht nur die Zahl, sondern auch die Tiefe der Athemzüge in einer Weise angeben wird, dass man den Nutzeffect jeder einzelnen Athembewegung genau daraus wird bestimmen können. Wie die folgende Darstellung zeigen wird, sind alle bis jetzt vorgeschlagenen Vorrichtungen weit davon entfernt, dieser Anforderung zu genügen.

Die einfachste Weise, die Athembewegungen zu registriren, besteht darin, dass man irgend einen bei einer gewissen Phase der Athmung aus seiner Ruhelage verrückbaren Theil mit einer Vorrichtung verbindet, deren Excursionen auf einer rotirenden Trommel aufgezeichnet werden. So z. B. kann man eine Rippe oder das Zwerchfell verbinden, entweder mit einer Nadel, deren Bewegungen direct oder auf eine Hebelvorrichtung übertragen verzeichnet werden, oder mit einem Haken, der durch einen über eine Rolle gehenden Faden eine Schreibvorrichtung in Bewegung setzt.

Auf ganz anderm Princip beruhen andere registrirende Vorrichtungen, welche entweder die Druckschwankungen der ein- und ausgeathmeten Luft oder die der Brusthöhle selbst graphisch verzeichnen. Von den Vorrichtungen der ersten Art sind im Allgemeinen diejenigen vorzuziehen, welche gleichzeitig wenigstens eine relative Vorstellung von der Tiefe der Athemzüge zu geben vermögen.

Die erste etwas vollkommnere Einrichtung dieser Art ist von Rosenthal angegeben worden. Derselbe wählte bei der Construction seines Phrenographen das Zwerchfell als dasjenige Organ, dessen Lage und Formveränderungen verzeichnet werden sollen. Durch einen kleinen, etwa einen Zoll langen Schnitt in der Linea alba unmittelbar unter dem Processus xiphoideus wird zwischen Leber und Diaphragma ein Halbring aus Elfenbein eingeschoben, dessen concave Fläche der Leber, dessen convexe dem Zwerchfelle zugewendet ist. Dieses Elfenbeinstück

wird bei jeder Bewegung des Zwerchfells verschoben und da er um eine unbewegliche Achse drehbar ist, so lassen sich seine Drehungen auf ein Hebelwerk übertragen, das mit einer Feder endet, vor welcher ein endloser Papierstreifen vorbeigeführt wird. Die Einrichtung von Rosenthal gestattet die Momente, in welchen eine Stellungsänderung des Zwerchfells eintritt, mit grosser Genauigkeit zu bestimmen. Durch die Abhängigkeit der Excursionsgrösse des Hebelwerks von der Stärke der Verschiebungen des Zwerchfells ist die Möglichkeit gegeben, mit Hilfe dieses Apparates auch theilweise auf die Tiefe der Athemzüge zu schliessen. Wenn dieses Instrument dennoch keine weitere Verbreitung gefunden hat, so liegt dies an der Complicirtheit seiner Ausführung, welche seine Anwendung beträchtlich erschwert und es häufig auch ganz unbrauchbar macht.

Die Grundidee dieses Apparates lässt jedenfalls manche Verbesserungen in seiner Ausführung zu und kann von einem geschickten Mechaniker mit Vortheil für die Construction einer Vorrichtung benutzt werden, die nur die Dauer der verschiedenen Stellungen des Zwerchfells genau anzugeben brauchte.

Von den Vorrichtungen, welche die Bewegungen der Rippen wiedergeben, sind einige auf Taf. XXVII in Fig. 1, 2, 3, 4 und 5 dargestellt.

Fig. 1 stellt einen Hohlcylinder aus Messing dar, der von beiden Seiten durch zwei Kautschukplatten verschlossen ist, welche auf eine aus der Zeichnung verständliche Weise mit einem ledernen Gürtel verbunden sind, den man auf dem Thorax in beliebiger Höhe befestigen kann.

Dieser Gürtel kann auch aus kurzen Plättchen bestehen, welche durch bewegliche Charniere mit einander verbunden sind.

Der Hohlraum dieses Cylinders wird durch eine Kautschukröhre mit einer Marey'schen Lufttrommel verbunden. Jede Ausdehnung der Lunge zieht diesen Cylinder aus einander, und erzeugt so eine Luftverdünnung, welche der Hebel der Trommel durch ein Sinken anzeigt; bei der Exspiration dagegen wird durch die Luftverdichtung der Hebel in die Höhe getrieben. Dieser von P. Bert modificirte Marey'sche Pneumograph wird auf beliebige Höhen des Brustkastens angelegt und kann die Zahl der Athemzüge genau angeben, wenn das Thier sonst gar keine Bewegungen macht; im entgegengesetzten Falle zeigt er noch andere Bewegungen an, welche nichts mit der Athmung zu thun haben.

In der ursprünglichen Form bestand der Pneumograph Marey's aus einem Hohlcylinder aus Kautschuk, der über eine Spiralfeder gedehnt war, und dessen Basen aus Metall bestanden.

Bei seiner Anwendung muss dafür gesorgt werden, dass er möglichst unverrückbar an der Brusthöhle befestigt wird. Bei Thieren, welche mit Curare vergiftet sind, und denen künstliche Respiration gemacht wird, kann daher dieser Apparat mit Nutzen verwendet werden.

Auch beim Menschen kann er für die Registrirung der normalen Athembewegungen gebraucht werden. - Dagegen ist er bei Hunden, welche selbstständig athmen, unbrauchbar; der fortwährende Wechsel des Athemrhythmus, die Uebergänge vom lechzenden Athem zum seltnern und tiefen macht hier das Studiren der Athembewegungen mit Hilfe dieser Vorrichtung ganz unmöglich. Ganz dasselbe gilt auch von dem in Fig. 3 wiedergegebenen Apparate von P. Bert. Derselbe besteht aus einer auf einem Stativ durch ein Charnier beweglichen Lufttrommel *A*,

welche ihrer Einrichtung nach nur eine etwas vergrösserte gewöhnliche Marey'sche Trommel darstellt. In dem Rahmen *B* bewegt sich ein kleiner Stift, welcher einerseits auf das Plättchen *a* sich stützt, das in der Mitte der Kautschukmembran befestigt ist, und andererseits in die kleine Metallscheibe *a* endet. Diese letztere wird bei Benutzung des Apparates auf das Sternum angelegt. Die Excursionen dieses Stiftes, welche durch Bewegungen des Sternums veranlasst werden, verdichten oder verdünnen die Luft in der Trommel, welche durch die Röhre *C* mit dem registrirenden Tambour Marey's auf die bekannte Weise communicirt. Der elastische Faden dient dazu, das Plättchen nebst Stift, wenn sie zu tief in die Membran gedrückt sind, von selbst zurückzuführen.

In Fig. 4 und 5 derselben Tafel sind zwei Ansichten eines neuen Apparates von Marey[1], dargestellt, welcher die Excursionen der Brusthöhle auf verschiedene Höhen zu untersuchen gestattet. Die Functionsweise des Apparates ist ganz der des auf Figur 1 abgebildeten Pneumographen analog und ist aus der Zeichnung leicht verständlich. Durch die Excursionen des Thorax werden die beiden Hebel *L L* nach aussen gedreht, wodurch die mit ihnen durch Gelenke bei *R* verbundene Säule *V* das an der Kautschukmembran des Tambours *T* angebrachte Plättchen mehr oder weniger stark abhebt. Die Röhre *t* dient zur Communication mit der registrirenden Lufttrommel. Die Excursionen der mittleren Säule können durch Anlegen des um ein Gelenk drehbaren Stiftes gehemmt werden. (In Fig. 5 ist derselbe Stift durch punctirte Linien ganz ausser Contact mit den Säulchen dargestellt.)

Dieser Apparat bietet schon bedeutende Vorzüge vor dem früheren Pneumographen Marey's, indem er nur ausschliesslich die respiratorischen Excursionen der Brusthöhle wiedergiebt; auch sind seine Excursionen viel kleiner und bietet der Apparat selbst bei seinem Anlegen gar keine Hemmung der normalen Thoraxbewegungen; er kann also auch an kleineren Thieren mit Erfolg angewendet werden.

Fick hat einen Pneumographen construirt und beschrieben, welcher wohl mehr für medicinische als für physiologische Zwecke tauglich ist. Während die bis jetzt beschriebenen Marey'schen Pneumographen die Aenderungen des Thoraxumfangs verzeichnen, dient der Fick'sche, den Thoraxdurchmesser zu bestimmen. In dieser Hinsicht ähnelt er dem in Fig. 2 auf Taf. XXVII abgebildeten P. Bert'schen, welcher für kleinere Thiere bestimmt ist.

Wenn nämlich ausser der Zahl und der Dauer der einzelnen Thoraxerweiterungen auch die Distanz, um welche zwei beliebige Punkte der Brustwand sich von einander entfernen, graphisch dargestellt werden soll, so müssen die angewendeten Vorrichtungen an solchen zwei Punkten applicirbar sein. Man kann dazu die von den Aerzten (Gibson, Wintrich, Ransom u. A.) häufig (besonders in England) verwendeten Stethometer benutzen, die man mit einem beliebigen registrirenden Hebelwerk verbindet. Der auf Taf. XXVII in Fig. 2 abgebildete, von P. Bert angegebene Apparat kann mit Erfolg dazu benutzt werden, bei kleineren Thieren auf diese Weise die Athembewegungen zu verzeichnen.

1) Dieser Pneumograph ist von Marey noch nirgends beschrieben worden. Ich verdanke die Clichés der freundlichen Zusendung von Seiten des Autors.

Er besteht aus zwei Zangenarmen *e* und *e'*, welche durch ein Gelenk mit einander verbunden sind und die durch die Vorrichtung *E* in beliebiger Weite von einander eingestellt werden können. Der Kautschukring *D* dient dazu, die durch die Athembewegungen auseinandergespreizten Arme an dem Thorax festzuhalten. Wie aus der Zeichnung ersichtlich, bestehen die Arme aus zwei Stücken, wodurch die Möglicheit gewonnen wird, ihre Länge beliebig zu variiren. Der eine Arm endet mit einem Tambour *A*, der ganz dem auf Fig. 3 dargestellten analog gebaut ist, der andere mit der Platte *B*. Zwischen dieser Platte und der des Tambours wird der betreffende Brusttheil eingeschoben. *C* communicirt mit der registrirenden Lufttrommel Marey's. Will man irgend welche messbaren Werthe durch die Aufzeichnungen des Tambours gewinnen, so muss er natürlich graduirt werden, und zwar vor jedem Versuche nach der gegebenen Einstellung seiner Arme und Füllung seiner Höhlen. Die Graduirung kann in der Weise geschehen, dass man auf einem mit Mm.-Theilung versehenen Stab zwei verticale Plättchen verschieben kann, deren Entfernung von einander leicht abgelesen wird. Diese Plättchen werden nun bei verschiedenen Entfernungen von einander zwischen den Platten dieses Stethometers eingeschoben und auf dem registrirenden Cylinder die entsprechende Stellung des Hebels der Lufttrommel verzeichnet. Auf besondere Genauigkeit kann natürlich dieses Instrument auch bei der sorgfältigsten Graduirung keine Ansprüche machen.[1])

Man kann in sehr leichter Weise sich einen Pneumographen herstellen, welcher dem Marey'schen dem Principe nach sehr ähnlich ist, der aber viel genauer die Zahl und relative Tiefe der Athembewegung wiedergiebt. Man nimmt einen breiten und sehr weichen Kautschukschlauch, dessen Länge es gestattet, ihn als Gürtel um den Thorax des betreffenden Thieres anzuwenden, und verschliesst beide Enden desselben mit Kautschukpfröpfen. Durch einen dieser Pfröpfe wird eine Glasröhre durchgelassen, die in eine lange schmale Kautschukröhre übergeht. Verbindet man diese letztere Röhre mit einem Wassermanometer oder der Marey'schen Lufttrommel, nachdem man zuerst den Gürtel etwas aufgeblasen hat, so giebt sich jede Dehnung des Gürtels durch die sich bewegende Thoraxwand an dem Schwimmer resp. dem Hebel der schreibenden Vorrichtung kund. Zur Befestigung des Gürtels wird er mit einer Schnallvorrichtung verbunden. — Ein solcher Gürtel liegt viel genauer dem Thorax an und ist von sonstigen Bewegungen des Thieres unabhängiger als der frühere Marey'sche.

Was nun die Vorrichtungen betrifft, welche die Veränderungen wiedergeben, die sowohl der Druck in der Pleura als auch in dem inneren Lungenraum bei den verschiedenen Respirationsphasen erleidet, so sind diese Apparate noch viel unvollkommener ausgearbeitet, als die bisher beschriebenen.

Ludwig hat auf die einfachste Weise diese Druckänderungen gemessen, indem er durch eine kleine Schnittöffnung in der Brustwand in die Pleurahöhle eine kleine Kautschukblase einführte, deren Lumen mit einem Wassermanometer communicirte; die Niveauschwankungen der Flüssigkeitssäule wurden in bekannter Weise auf der rotirenden Trommel verzeichnet. Bei der geringen Intensität

1) Die älteren Vorrichtungen, wie die von Vierordt und G. Ludwig gebrauchte, sowie die wenig zweckmässige unlängst von Riegel construirte übergehen wir hier.

dieser Druckänderungen würde es sich empfehlen, diese Kautschukblase mit der Marey'schen Lufttrommel zu verbinden.

Leichter lassen sich die Bewegungen der Luft beim Aus- und Eintritt in die Lunge registriren. Es genügt dazu, die Nasen- oder Mundhöhle mit einer Röhre zu vereinigen, deren einer Zweig mit der Marey'schen Lufttrommel oder mit einem Wassermanometer verbunden wird.

Einen ähnlichen Apparat, in dem die Luftbewegung auf eine der sphygmographischen analoge Feder übertragen wird, hat Bergeon unter dem Namen Anapnograph beschrieben; seine nähere Einrichtung ist mir aber wegen Mangel einer bildlichen Darstellung nicht ganz verständlich. Die ausgeathmete Luft scheint ein Ventil in Bewegung zu setzen, das auf die Feder eines Sphygmographen drückt; die Bewegungen dieser Feder sollen aufgezeichnet werden. Es scheint aber dabei ein grosser Widerstand für die Luftbewegung gesetzt zu werden.

Man kann die Athembewegungen mit einiger Genauigkeit graphisch darstellen, wenn man die in der Trachea eingebundene Canüle mit einem Ventilapparate verbindet und die Mündung, durch welche die Exspirationsluft entweicht, mittelst einer Zweigröhre mit dem Marey'schen Tambour verbindet. Ich habe in letzterer Zeit dieses Verfahren verwendet mit Benutzung der im § XIII des ersten Capitels beschriebenen Ventilvorrichtung (Fig. 3 Taf. IX). Man erhält auf diese Weise Curven, welche genau die Zahl der Athembewegungen angeben und auch über deren Tiefe relativ brauchbare Werthe liefern.[1])

Man muss bei grösseren Thieren den Druck in dieser Zweigröhre so zu reguliren suchen, dass er nur ganz minimale Luftmengen in die Lufttrommel hineinlässt; sonst reisst die Trommel sehr leicht.

Mit diesem kurzen Verzeichniss glaube ich die Aufzählung der hier in Verwendung gekommenen Apparate erschöpft zu haben.

Zum Schluss soll hier noch ein Vorschlag gemacht werden, wie ein vollkommener Respirationsapparat zur graphischen Darstellung der Athembewegungen zu construiren wäre, wenn er auch als Messapparat für die Menge der ausgeathmeten Luft dienen sollte. Die Ausathmung müsste in eine besonders zu diesem Zwecke hergerichtete Gasuhr stattfinden, deren Zeiger einen Hebel mit Schreibvorrichtung bei jedem Luftstosse in Bewegung zu setzen im Stande wäre; das Verhältniss der Excursionsweite dieses Hebels zu den Bewegungen des Zeigers liesse sich natürlich leicht herausbringen. Die einzige bei einer solchen Vorrichtung zu überwindende Schwierigkeit bestände darin, die Hebelvorrichtung nach jedem erhaltenen Stosse wieder in ihre frühere Gleichgewichtslage zurückkommen und dabei doch im Contact mit dem Zeiger bleiben zu lassen. Eine Schwierigkeit, die wohl von einem geschickten Mechaniker leicht überwunden werden könnte. Als Gasuhren würden sich die von Casella in London construirten Spirometer, von denen im nächsten Paragraphen noch die Rede sein wird, am besten eignen.[2])

---

1) Heidenhain glaubt dasselbe zu erreichen, wenn er einfach eine T-förmige Canüle in die Trachea bindet und die eine Mündung mit der Marey'schen Trommel in Verbindung setzt; die beschränktere Zulässigkeit eines solchen Verfahrens ist leicht verständlich.

2) Der Spirograph von M. Vail David entspricht seiner Einrichtung nach durchaus nicht dieser Bezeichnung und ist überhaupt ein wenig brauchbares Instrument.

§ II. Spirometrie und Pneumometrie.

Es sollen hier die geläufigsten Methoden zur Messung der Luftmenge besprochen werden, welche bei der Respiration ein- und austreten kann, des Druckes, unter dem die Luftbewegung dabei stattfindet, der Stärke der Lungenelasticität und so weiter.

Die Apparate, welche zur Messung ersterer Art benutzt werden, sind die sogenannten Spirometer, die besonders durch Hutchinson[1]) in allgemeine Anwenwendung gebracht wurden.

Auf Taf. XXVII Fig. 6 ist ein solcher Apparat in der ihm von Wintrich gegebenen einfachen Construction dargesteilt. Eine graduirte Glocke *A* (am besten aus Metall) ist über der Rolle *B* in der Weise aufgehängt, dass sie in jeder Stellung durch das Gegengewicht *C* äquilibrirt wird. Diese Glocke kann in den weiteren Metallcylinder *D* tauchen, der mit Wasser gefüllt ist und an der Seite ein Glasfenster besitzt, durch welches man die Theilungen der auf der Glocke angebrachten Scala ablesen kann. In der Mitte des Cylinders ist eine Metallröhre durchgezogen, welche durch den rechtwinkeligen Schenkel in den Hahn *G* ausläuft, und über dem Wasserniveau frei unter der Glocke mündet. *F* ist eine mit Hahn versehene Oeffnung, welche dazu dient, das Wasser aus dem Behälter *D* auszulassen. Der Kautschukschlauch *G—g'* mit Mundstück ist auf den Hahn *G* aufgezogen und setzt also die Luft unter der Glocke mit der äusseren Luft in Verbindung.

Die Anwendung dieses Apparates ist folgende:

Man öffnet den an der Glocke befindlichen Hahn und senkt allmählich den Cylinder *D* bis nahe an den Boden; ist die in ihm enthaltene Luft durch den geöffneten Hahn entfernt, so wird dieser geschlossen und man liest an der Scala den Theilstrich ab, der dem Wasserniveau entspricht. Dann lässt man das zu untersuchende Subject eine tiefe Einathmung machen und dann bei geschlossenen Nasenlöchern die eingeathmete Luft durch das Mundstück *D* in die Glocke ausathmen; die sich mit Luft füllende Glocke steigt in die Höhe, so lange noch Luft in sie ausgeathmet wird. Liest man jetzt den Stand der Glocke über dem Wasser ab, so erhält man die Menge der ausgeathmeten Luft. (Die Theilungen der Glocke zeigen ihren Voluminhalt in Cubikcentimetern an.) Wenn man mit dem Spirometer die Lungencapacität messen will, so muss man das zu untersuchende Subject vorher einige Probeversuche ausführen lassen, da erfahrungsgemäss die ersten Messungen immer etwas zu gering ausfallen. Sowohl die Ein- als Ausathmung muss mit grösster Kraft bei aufrechter Körperstellung und möglichst geradegestreckter Wirbelsäule ausgeführt werden. Das Schliessen der Nasenlöcher ist bei gut schliessendem Gaumensegel nicht durchaus nothwendig.

Man kann mit dem Spirometer sowohl beim Menschen als beim Thiere auch die Menge der beim gewöhnlichen Athmen ein- oder ausgeathmeten Luft bestimmen. Beim Menschen führt man dazu am besten zwei gutschliessende Röhrchen aus

---

1) Der erste Spirometer scheint von Abernethy construirt worden zu sein, der durch die Untersuchungen von Goodwin, Davy und Andere auf das Princip dieses Instruments gekommen ist. (Laennec.)

Hartgummi oder Elfenbein in die Nasenlöcher ein und lässt sie durch ein Gabelrohr in eine Kautschukröhre auslaufen, die mit dem Hahne *G* des Spirometers verbunden wird. Will man mehrere solche Messungen ausführen und aus ihnen das Mittel ziehen, so verbindet man diese mit einer Ventilvorrichtung, welche nur die ein- oder die ausgeathmete Luft mit dem Spirometer communiciren lässt, je nach dem Zweck der Bestimmung. Solche Messungen sind aber aus vielen Ursachen nicht immer ganz genau, unter Anderem schon darum, weil man bei der Messung nie ganz so athmen kann, wie man es gewöhnlich thut: ist die Glocke nicht genau äquilibrirt, oder bieten die Ventile irgend welche Schwierigkeiten der Luftströmung, so wird natürlich die Messung noch viel ungenauer.

Um bei Thieren solche Messungen vorzunehmen, verbindet man die Trachealcanüle mit den gleich zu beschreibenden Ventilen und das Inspirationsventil mit dem Spirometer. Will man auch hier genaue Resultate erhalten, so ist es auch geboten, mehrere Einathmungen aus der gut äquilibrirten Glocke zu machen und dann für jede Athmung das Mittel zu nehmen. Bei kleineren Thieren ist dies sogar unumgänglich nothwendig. Die Ventile, von denen schon mehrmals die Rede war und die gewöhnlich die W. Müller'schen genannt werden, sind auf Taf. XXVIII Fig. 2 dargestellt. Sie bestehen aus gewöhnlichen kleinen Spritzflaschen und sind zuerst von Regnault und Reiset bei ihren classischen Versuchen über den Chemismus der Athmung verwendet worden. (S. *M* auf Taf. XXIX Fig. 1.) Diese Fläschchen werden mit irgend einer Flüssigkeit (das von Müller gebrauchte Quecksilber ist des grossen Widerstandes wegen bei kleineren Thieren besser zu vermeiden; bei gewöhnlicher Luftathmung benutzt man am besten Wasser, bei Sauerstoff-Athmung, um dessen Absorption zu vermeiden, nach Regnault's Vorgang eine Lösung von Chlorcalcium oder Kali) bis zur Hälfte gefüllt. Zum Einathmungsventil wird die Flasche, wenn man die kurze nicht zur Flüssigkeit reichende Röhre mit der Trachea, die in Flüssigkeit steckende mit dem Gasbehälter verbindet (*C* auf der Figur); im entgegengesetzten Falle dient eine solche Flasche zum Ausathmungsventil (*B*). Benutzt man zwei solche Ventile in der Weise, dass man mittelst einer gabeligen Röhre das lange Rohr der einen Flasche und das kurze der anderen verbindet, und setzt nun das dritte Ende dieser gabeligen Röhre mit der Trachea in Communication, so athmet das Thier durch die letztere Flasche (*C* auf der Zeichnung) ein und durch die erstere (*B*) aus. Verbindet man *C* mit dem Spirometer und lässt die kurze Röhre von *B* frei in die Luft münden, so wird das Thier aus dem Spirometer ein- und in die Luft frei ausathmen.

Man kann natürlich auch *B* mit dem Spirometer verbinden, in welchem Falle man die Ausathmungsluft auffängt.

Der auf der betreffenden Fig. 2 dargestellte Spirometer unterscheidet sich insofern von den früher beschriebenen, als der Luftbehälter bei ihm aus zwei ineinander geschobenen Cylindern besteht, in deren Zwischenraume, der durch Quecksilber oder eine andere Flüssigkeit (bei Sauerstoffversuchen am besten durch concentrirte Chlorcalciumlösung) abgesperrt ist, die Glocke *D* sich bewegt. Dieser Spirometer[1]) ist also nach Art des bekannten Despretz'schen oder Döbereiner'-

1) Seine Beschreibung und Abbildung fand ich bei Burdon-Sanderson.

schen Gasometers gebaut. Die Röhren von den Ventilapparaten sind durch die Metallplatte gebohrt, auf welcher die beiden Cylinder luftdicht befestigt sind, und münden in den Raum, der durch den inneren Cylinder *E* und die Glocke *D* gebildet wird.

Das dritte Ventil *A* dient, um ein beliebiges Gas in den Spirometer zu bringen, im Falle man die Thiere eine bestimmte Quantität eines solchen Gases einathmen lassen will. (Zu solchen Zwecken können auch die gewöhnlichen grossen Kautschukblasen mit bestimmtem Cubikinhalt verwendet werden.)

In Frankreich und England sind jetzt meistens Spirometer in Anwendung, welche nach dem Principe der Gasuhren eingerichtet sind. Aus eigener Erfahrung kann ich von solchen Spirometern den von Casella in London sehr empfehlen; er besteht aus zwei kleinen Kästchen, von denen das eine zur Fixirung der Feuchtigkeit der Luft, das andere als Compteur dient. Das Räderwerk wird bei ihm einfach durch den Luftzug in Bewegung gesetzt. Dieses portable Instrument lässt, was Genauigkeit und leichte Handhabung betrifft, nichts zu wünschen übrig.

Welche Einrichtung der Spirometer auch haben mag, er kann natürlich nur verwendet werden, um die Mengen der ein- oder ausgeathmeten Luft zu bestimmen. Viel schwieriger dagegen ist die Bestimmung der Luftmenge, welche in den Lungen auch nach der stärksten Exspiration noch zurückbleibt (residual air von Hutchinson). Die Messungen Goodwyn's an abgesperrten Lungen von Menschen, die des natürlichen Todes starben, deren Lungen also die Exspirationsstellung einnehmen, können wohl kaum auf irgend welche Geltung Anspruch machen. Viel sinnreicher ist das von Harless vorgeschlagene Verfahren, das Volum des Brustraumes zu messen. Es besteht darin, dass man nach einer möglichst tiefen Inspiration den Lungenraum durch offen gebliebene Lippen und Stimmritze mit der Atmosphäre in Verbindung lässt. Sodann bringt man die offene Mundöffnung in eine luftdichte Verbindung mit einem Kasten, dessen Raum mit einem bekannten Luftvolum (v) gefüllt ist, das unter einem Drucke (b') steht, welcher höher als der atmosphärische ist. Durch die Vereinigung der in der Lunge enthaltenen Luftmenge von unbekanntem Volum (x), das unter dem atmosphärischen Drucke (b) stand, mit dem Volum v unter dem Drucke b', entsteht eine Luftmischung, deren Druck (b'') an einen am Kasten angebrachten Manometer abgelesen werden kann. Da das in einem Volum enthaltene Luftgewicht gleich ist dem Volum multiplicirt mit dem Drucke, unter dem die Luft steht, so war das Gewicht der Lungen- und der Kastenluft vor ihrer Vereinigung gleich $xb + vb'$, nach der Mischung $= (x + v)\,b''$, also $xb + vb' = (x + v)\,b''$; aus dieser Gleichung lässt sich x leicht bestimmen.

Wie Ludwig mit Recht hervorhebt, ist diese Harless'sche Methode mit einem Fehler behaftet, der daher rührt, dass der Lungenraum nach der Verbindung mit dem Kasten ein anderer sein muss, als vor dieser Verbindung, da in dem Kasten die Luft unter höherer Spannung steht. x ist also nach der Verbindung eine andere Grösse als vorher; dadurch enthält die erwähnte Gleichung zwei Unbekannte, die aus ihr nicht zu finden sind.

Eine andere nicht minder sinnreiche, aber ganz fehlerfreie Methode ist für denselben Zweck von N. Gréhant angewendet worden. Sie besteht in der Mischung der Lungenluft mit einem bestimmten Volum eines indifferenten Gases

(Wasserstoff) und der nachherigen Bestimmung des Procentgehaltes dieses Gases in der entstandenen Mischung. Wenn wir z. B. eine Luftmenge von 3 Liter mit einem Liter H vermengen, so erhalten wir eine Mischung, in der 25 % H sein werden. Wenn wir also eine Luft von unbekannter Menge mit 1 Liter H vermischen und eine 25 % H enthaltende Mischung bekommen, so folgt daraus, dass diese Menge gleich 3 Liter war.

Die von Gréhant benutzte einfache Vorrichtung ist in der Fig. 6 Taf. XXVIII dargestellt. *C* ist eine in Wasser getauchte Glasglocke, die oben mit dem Mundstücke *E* in Verbindung steht. Der T-förmige Hahn *B* endet mit der Röhre *A*, welche zum Auffangen der Luftmischung dient.

Führt man in die Glocke ein Liter Wasserstoff ein und macht dann durch *E* (nach einer Ausathmung) einige tiefe Einathmungen in die Glocke, so mengt sich die Lungenluft mit diesem Wasserstoff. Nach Gréhant's Erfahrung genügen fünf Athemzüge, um diese Mischung vollständig zu machen; nach der fünften Einathmung wird der Hahn *R* in der Weise gedreht, dass die Glocke abgeschlossen wird. Sie enthält dann eine Gasmenge aus N, O, CO_2 und H, in der man nur noch den Procentgehalt von H zu bestimmen hat. Bei einem 27jährigen gesunden Manne fand Gréhant 23,5 % H. Wenn nun 100 CC. der Luftmenge 23,5 CC. H enthielten, so war 1 CC. H in $\frac{100}{23,5}$ und 1000 in $\frac{100,000}{23,5}$ CC., also in 4,256 Liter enthalten; 3,256 Liter ist also das Maass der Luftmenge, welche in der Lunge während der Exspirationsstellung enthalten war.

Um die Druckverhältnisse beim Athmen zu messen, werden Manometer benutzt, die bei Thieren in die Seitenöffnung der Trachea, — beim Menschen in das eine Nasenloch luftdicht eingeführt werden. Dieses bei Thieren zuerst von Krahmer und dann mit einiger Modification von Wundt benutzte Verfahren ist für solche Zwecke ganz brauchbar; das erhobene Bedenken, die Schwankungen müssten nicht nur von der Grösse des Druckes, sondern auch von der Geschwindigkeit des Luftstromes abhängen, ist wohl kaum von eingreifender Bedeutung.

Dagegen ist das Verbinden des Manometers durch ein passendes Mundstück mit den Lippen wegen des Einflusses der Muskulatur der Mundhöhle ganz fehlerhaft.

Das Manometer kann auch benutzt werden, um an der Leiche die Elasticität der Lunge bei der Exspiration oder (nach vorheriger Aufblasung) bei der Inspiration zu bestimmen. Die Elasticitätsstärke der Lunge lässt sich sehr schön mittelst des auf Taf. XI Fig. 7 abgebildeten Apparates demonstriren. Eine ausgeschnittene Hunde- oder Katzenlunge wird an der Röhre einer Glocke ganz in der Weise wie bei den Versuchen über den negativen Druck der Thoraxhöhle angebracht und diese Glocke dann in den bis zu einer Höhe von etwa 5 Centimeter mit Wasser gefüllten Cylinder eingelassen. Sodann bläst man durch die obere Spitze der Röhre die Lunge stark auf, indem man gleichzeitig durch eine Seitenöffnung die verdrängte Luft aus der Glocke entweichen lässt. Ist die Lunge stark aufgeblasen, die Seitenöffnung zugeschlossen und das Wasser in den beiden Gefässen in's Gleichgewicht gekommen, so öffnet man den die Trachea verschliessenden Hahn: die sich in Folge ihrer Elasticität zusammenziehende Lunge sucht zusammenzufallen und hebt bei diesem Bestreben die Wassersäule in der Glocke bis zu

einer Höhe, welche gerade ausreicht, um der Elasticität der Lunge das Gleichgewicht zu halten.

§ III. Messungsmethoden des Gaswechsels im ganzen Organismus.

Eine der schwierigsten Aufgaben der Experimentalphysiologie besteht in der genauen Ermittelung der Menge der in einem bestimmten Zeitraume vom thierischen Organismus verbrauchten und gebildeten Gase.

Die Schwierigkeit dieser Aufgabe wird nicht unerheblich gesteigert, wenn es sich gleichzeitig darum handelt, den ganzen Gaswechsel des Organismus in seiner Abhängigkeit von bestimmten Bedingungen und zwar bis zu den kleinsten Schwankungen zu verfolgen. Die Wichtigkeit solcher Ermittelungen hat aber zu verschiedenen Zeiten Chemiker und Physiologen ersten Ranges dazu veranlasst, über diese Schwierigkeiten hinwegzusehen und mit dem grössten Aufwand intellectueller und materieller Arbeit ihre Thätigkeit der Lösung solcher Aufgaben zu widmen. Die Zahl der Beobachter, welche mit mehr oder weniger Erfolg sich mit solchen Fragen seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts beschäftigt haben, ist sehr beträchtlich; mit dieser Zahl der Beobachter steht aber auch die Verschiedenartigkeit der verwendeten Untersuchungsmethoden in geradem Verhältnisse. Wir wollen es versuchen, diese sämmtlichen Methoden ihren Principien nach in verschiedene Gruppen einzutheilen und dann ihren relativen Werth und den in jedem speciellen Falle erlangten Genauigkeitsgrad discutiren.

Sämmtliche zur Anwendung gekommene Untersuchungsmethoden lassen sich unter drei Gruppen vertheilen, von denen jeder ein ganz besonderes Princip zu Grunde gelegt wurde: 1) die directe Untersuchungsmethode, 2) die indirecte und 3) die procentige Methode.

Die directe Methode ist zuerst von Lavoisier zusammen mit Seguin und Laplace, sodann von Spallanzani und in diesem Jahrhundert von Andral und Gavarret, Scharling, Regnault und Reiset, Pettenkofer und Voit' Ludwig und seinen Schülern etc. benutzt worden. Diese Methode besteht darin, dass man direct die Mengen des von einem thierischen Organismus in einer gewissen Zeiteinheit und unter genau bestimmten Bedingungen verzehrten Sauerstoffs (und vielleicht auch N) und der gebildeten CO_2 zu ermitteln sucht. Die allgemeine Ausführungsweise solcher Versuche besteht darin, dass man das ganze Thier oder nur seine Luftwege mit einem geschlossenen Raum verbindet, in dem es so ungehindert als möglich seine normale Athmung fortzusetzen vermag, und dann die Veränderungen festzustellen sucht, welche das in diesem Raume enthaltene Gasgemenge während eines gewissen Zeitraums erlitten hat. Der Werth solcher Untersuchungen wird hauptsächlich von zwei Momenten bedingt: 1) von der Vollkommenheit der Einrichtungen, welche es dem Thiere ermöglichen, längere Zeit in einem abgeschlossenen Raume unter ganz normalen, sowohl chemischen als mechanischen Bedingungen zu athmen; 2) durch den Genauigkeitsgrad, mit welchem durch Analyse die von dem Luftgemenge in einer bestimmten Zeit erlittenen Veränderungen ermittelt werden können.

Die indirecte Methode, die Menge des in einem gewissen grössern Zeitraum verbrauchten Sauerstoffs und der gebildeten CO_2 zu bestimmen, besteht in Folgendem: Man bringt das zu untersuchende Thier in den sogenannten Gleichgewichts-

zustand der Ernährung, das heisst in einen Zustand, bei welchem das Thier während 24 Stunden durch alle seine Ausscheidungen eben so viel Bestandtheile an die Aussenwelt abgiebt, wie es durch Nahrung und Athmung erhält. Bestimmt man bei einem solchen Thiere das Gewicht und die chemische Zusammensetzung der harten und flüssigen Nahrungsmittel, welche es in 24 Stunden in den Körper einführt, und dann das Gewicht und die Bestandtheile der durch den Harn und die Excremente in derselben Zeit aus dem Körper entfernten Substanzen, und subtrahirt die letzteren Werthe von den ersteren, so hat man im Falle das Thier sein Gewicht nicht verändert hat, ein Maass für den Stoffumsatz durch Lungen und Haut. Untersuchungen dieser Art sind vorzugsweise von Boussingault, Barral, Liebig u. A. ausgeführt worden; sie haben, was die Bestimmungen der Menge des verzehrten Sauerstoffs und der abgegebenen CO_2 betrifft, an Bedeutung beträchtlich gewonnen, seitdem durch die zahlreichen und mühevollen Untersuchungen Voit's endlich festgestellt worden ist, dass N durch die Lungen nicht ausgeschieden wird.

Diese Methode bietet ebenso wie die procentige Methode den Vortheil, dass sie keiner besondern Vorrichtung bedarf, sie daher auch an grossen Thieren leicht angewendet werden kann.

Die procentige Untersuchungsmethode ist zuerst von Spallanzani und Goodwin, dann von Davy, Dumas u. A. angewendet worden.

Das Princip dieser Methode beruht auf Folgendem: Man bestimmt zuerst den Procentgehalt der ein- und ausgeathmeten Luft an Sauerstoff, sodann den Umfang jeder einzelnen Athmung und die Zahl der Athmungen in der Minute. Aus diesen drei Grössen berechnet man die Menge des verzehrten Sauerstoffs. Nehmen wir z. B. an, dass die ausgeathmete Luft 5% weniger O als die eingeathmete enthält, dass der Mensch 18 Athmungen in der Minute macht und bei jeder Einathmung $^1/_2$ Liter Luft in die Lungen aufnimmt, also 9 Liter in der Minute. Bei einer Verminderung des Procentgehaltes des O um 5% verzehrt er also 25 Liter Sauerstoff in der Stunde. Zur Bestimmung der Menge der ausgeathmeten CO_2 taugt diese Methode nicht; dagegen können die mit ihr erhaltenen Mengen des verzehrten Sauerstoffs sehr genau sein; ihr Werth wird nur von dem Genauigkeitsgrad abhängen, mit dem die zu ihrer Berechnung nothwendigen Grössen bestimmt werden können.

Wir können hier von den Vorrichtungen, welche zu Bestimmungen des Gaswechsels mittelst der directen Methode von verschiedenen Experimentatoren in Anwendung gebracht wurden, nur solche berücksichtigen, die wegen ihrer vollkommenern Einrichtung zu fruchtbringenden Resultaten geführt haben und noch führen können.

An der Spitze dieser Vorrichtungen stehen unzweifelhaft die von Regnault und Reiset verwendeten, welche zu ihren classischen Versuchen über den Chemismus der Respiration bei den verschiedensten Thierclassen so ausgezeichnete Dienste geleistet haben.[1])

1) Nach der Richtigkeit der meisten Resultate, welche Lavoisier bei seinen Untersuchungen mittelst der directen Methode erhalten hat, zu urtheilen, müssen die von diesem genialen Forscher gebrauchten Apparate einen hohen Grad von Genauigkeit besessen haben. Der gewaltsame Tod Lavoisier's hat aber zum Schaden der Wissenschaft ihn verhindert, die Beschreibung derselben zu liefern, welche er in seinem letzten Memoire der Akademie der Wissenschaften versprochen hat. Bis jetzt zehrt noch die Physiologie der Athmung an der grossen Fülle der von Lavoisier hinterlassenen Ideen und Thatsachen.

Diese Vorrichtungen sind auf der Taf. XXIX (Fig. 1 und 2) abgebildet und bestehen aus drei wesentlichen Theilen:

1) Dem Raume, welcher zum Aufenthalt des Thieres bestimmt ist;

2) einem Condensator für die gebildete Kohlensäure, und

3) aus Vorrichtungen, welche den aufgezehrten Sauerstoff continuirlich ersetzen.

Der für das Thier bestimmte Raum besteht aus der Glasglocke *A* von etwa 45 Liter Rauminhalt, die unten an eine gusseiserne mit zwei Rinnen versehene Scheibe fest angekittet ist. Fig. 2 stellt diese Scheibe *DD* im Querschnitte dar; die centrale Oeffnung *ab* dient zur Einführung des Thieres und wird durch den anzukittenden Deckel *ef* luftdicht geschlossen. Auf der Blechplatte *mn*, auf welcher das Thier ruht, sind Holzleisten gelegt, welche das Thier vor dem abkühlenden Contact des Metalles schützen sollen. Der Deckel sowie diese Platte und die innere Fläche der Scheibe sind mit rothem Bleioxyd gestrichen, um die Oxydation des Metalls durch Absorption von Sauerstoff zu verhüten.

Ueber diese Glocke ist der Glascylinder *BB' DD'* von $^1/_2$ Meter im Durchmesser gestülpt, der in die äussere Rinne der Scheibe eingekittet ist. In dem Zwischenraume zwischen Glocke und Scheibe kann ein Wasserstrom von beliebiger Temperatur erhalten werden.

Oben wird die Glocke durch eine metallene von mehrern Röhren durchbohrte Hülse verschlossen; von diesen Röhren communicirt *fa* mit dem Quecksilbermanometer *abc*, das den Spannungsgrad der Gase im Innern der Glocke angiebt; *j* und *j'* gehen zu dem Condensator der Kohlensäure, und *r* dient zur Einführung von Sauerstoff.

Der Kohlensäure-Condensator besteht aus zwei Glascylindern *C, C'*, welche unten mit einer Röhre *qq'* aus vulcanisirtem Kautschuk verbunden und oben durch Kautschukpfröpfe verschlossen sind, die von den Fortsetzungen *m m'* der Röhren *j* und *j'* durchbohrt werden. Diese Röhren werden mit 3 Liter einer Lösung von Kali causticum gefüllt, deren Gewicht und Concentration genau bekannt sind.

Die beiden Glascylinder *C, C'* sind in bewegliche Rahmen befestigt, welche mittelst einer Zahnradvorrichtung in Bewegung gesetzt werden, die durch ein Gewicht von 200 Kilogramm einen 18 Stunden dauernden Gang hatte. Durch die Bewegungen dieser Cylinder, bei welcher die Flüssigkeit aus dem einen in den anderen übergegossen wird, entsteht eine Luftströmung in dem mit ihnen communicirenden Röhrensystem, welche für die Absorption der Kohlensäure durch das Aetzkali in hohem Grade günstig ist; der Cylinder *C'* erhält zu diesem Zwecke die Luft aus dem oberen Theil der Glocke, — *C* aus dem unteren durch die längere Röhre *j'*. Damit in den Cylindern auch eine Absorption stattfinde, wenn ihre Flüssigkeit in den Nachbarcylinder übergeführt wird, werden sie mit an beiden Seiten freien Glasröhrchen gefüllt, deren Wände vom Aetzkali benetzt bleiben.

Die Vorrichtung, welche fortwährend den verzehrten Sauerstoff ersetzen soll, besteht aus drei Glasballons *N, N', N''* mit an beiden Enden verengten Hälsen. Die aus dem obern Hals kommende Röhre trägt eine metallne Fassung für zwei Röhrchen mit Hähnen, deren eine mit der Glocke, deren andere mit dem Sauerstoffreservoir in Verbindung gebracht wird. Die unteren Hälse sind in Kupferhülsen

eingekittet, deren eine verticale mit dem Hahne R' versehene Zweigröhre zum Abfliessen der Flüssigkeit bestimmt ist, wenn der Ballon mit Sauerstoff gefüllt werden soll; die zweite knieförmig gebogene Röhre KK' communicirt mit dem Behälter $PP'QQ'$, aus dem die Flüssigkeit herkommt, die zum Heraustreiben des Sauerstoffs dient.

Zwischen den Ballons N,N', N'' (pipettes à oxygène) und der Glocke ist die bis zur Hälfte mit einer Kalilösung gefüllte Spritzflasche M eingeschaltet, welche das uns schon bekannte Ventil darstellt; es dient um durch die Bewegungen der Gasblasen den Gang der Athmung des Thieres anzuzeigen.

Die Sauerstoffpipetten sind mit einer concentrirten Chlorcalciumlösung gefüllt, deren lösende Wirkung auf Sauerstoff und atmosphärische Luft verschwindend klein ist.

Die Einführung des Sauerstoffs geschieht durch die Röhre T', wobei die Chlorcalciumlösung durch den Hahn R' entweicht. Die Füllung der Pipetten geschieht unter einem Druck, der etwas höher als der atmosphärische ist; nur wenn die Temperatur des Gases sich mit der der Luft ausgeglichen hat, lässt man einen kleinen Theil des Sauerstoffs entweichen, bis er, zwischen zwei Marken des Ballons enthalten, unter dem atmosphärischen Druck zu stehen kommt. Der Rauminhalt der Ballons zwischen den beiden Marken ist genau bekannt.

Die Versuchsanordnung ist nun kurz folgende:

Wenn die drei Pipetten N,N' und N'' mit Sauerstoff unter dem atmosphärischen Drucke H und bei der Temperatur Θ gefüllt sind, und wenn wir durch V den Rauminhalt (in Centimetern) einer Pipette zwischen zwei Marken ausdrücken, so wird das Gewicht X des Sauerstoffs, das sie während des Versuchs liefert, durch die Gleichung gegeben sein:

$$X = V.\ 0^{gr},0014298.\ \frac{1}{1+0{,}00367.\Theta}.\ \frac{H-f}{760}$$

wo f die Spannung der Wasserdämpfe bedeutet, welche die Chlorcalciumlösung dem Sauerstoff überlässt. Durch genaue Bestimmungen fanden Regnault und Reiset, dass in den Temperaturgrenzen, bei welchen sie gearbeitet haben, dieses f gleich war 0,47 der elastischen Spannung der Dämpfe, welche das reine Wasser bei derselben Temperatur gab.

Das Gewicht der Kohlensäurepipetten C und C', sowie der in sie hineingegossenen Lösung von Kali causticum wurde auf das genaueste ermittelt; bei bekannter Zusammensetzung dieser Lösung lässt sich leicht die CO_2-Menge, welche es im Beginne des Versuches enthält, bestimmen. Die Bleiröhre r des Ballons N wird mit der Röhre v der kleinen Flasche M (Flacon laveur) in Verbindung gebracht. M wird mit reinem Sauerstoff gefüllt, noch ehe seine zweite Röhre mit der Glocke in Communication gesetzt wurde. Sodann wird das Thier unter die Glocke sammt etwaiger Nahrung hineingebracht, die Temperatur der Glocke durch Einbringung von Wasser in den Glascylinder $BB'DD'$ auf eine gewünschte Höhe gebracht und der Barometerstand abgelesen; während dieser ganzen Zeit wird die Glocke durch eine pneumatische Maschine stark gelüftet, damit die in ihr enthaltene Luft noch vor Beginn des Versuches nicht verdorben wird. Sodann entfernt man die Maschine, lässt den Hahn r der Glocke offen, schliesst den untern Deckel der Glocke

hermetisch ab und setzt die Kohlensäurepipetten in Bewegung; zuletzt wird dieser Hahn r mit der Flasche M verbunden und geöffnet.

Bei der Voraussetzung, welche auch ganz richtig ist, dass nur Sauerstoff verzehrt und CO_2 gebildet wird, ist es leicht verständlich, dass in dem Maasse, wie die CO_2 von dem Aetzkali resorbirt wird, sie durch eine äquivalente Sauerstoffmenge wird ersetzt werden müssen, wenn nur dafür Sorge getragen wird, dass durch die Röhre $k\,k'$ fortwährend so viel Chlorcalciumlösung in die Sauerstoffpipetten nachfliesst, dass der Sauerstoff immer unter dem atmosphärischen Drucke stehen bleibt.

Zur Herstellung eines solchen regelmässigen Zuflusses sind die Röhren $k\,k'$ mit dem Reservoir $PQ\ P'Q'$ verbunden, welches mit einer concentrirten Lösung von Chlorcalcium gefüllt ist; durch die Ballons O,O' und O'' wird auf eine durch die Zeichnung verständliche Weise das Niveau dieser Lösung immer auf gleicher Höhe erhalten. Die Art, wie die eine Sauerstoffpipette durch die nächstfolgende ersetzt und dann von Neuem mit O gefüllt wird, bedarf wohl keiner weitern Auseinandersetzung.

Die manometrische Vorrichtung $r''\ d'$, welche nach Belieben mit der Glocke in Verbindung gesetzt werden kann, dient dazu, nach Bedarf gewisse Luftquantitäten zum Zwecke einer Analyse aus der Glocke zu schöpfen; die besondere Einrichtung der Verbindungsstücke verlangt, dass diese Luftherausnahme nur während des Aufsteigens der Pipette C geschehen darf. Die Thieren blieben in diesen Glocken, ohne besondere Zeichen von Unruhe oder sonstigen Störungen zu zeigen, bis zu mehreren Tagen und nahmen die etwa hingestellte Nahrung zu sich. Ihr Harn floss in den Zwischenraum zwischen dem Deckel und der Platte ab.

Sowohl vor dem Beginne als nach der Beendigung des Versuches wurde das Thier, die Nahrung etc. genau gewogen.

Die Werthe, welche der Berechnung der Menge von absorbirtem Sauerstoff und exhalirter CO_2 zu Grunde gelegt wurden, waren folgende. Bezeichnet man durch V das Volum (in Liter) der Luft in der Glocke vor Beginn des Versuchs (nach Abzug des vom Thiere eingenommenen Rauminhalts), ihre elastische Kraft durch H, ihre Temperatur durch t und durch f die Spannung des gesättigten Wasserdampfes bei dieser Temperatur, so ist das Gewicht des Sauerstoffs in der Glocke

$$p_0 = 0{,}2095.\ 1^{gr}_{,}\ 4298.\ V.\ \frac{1}{1+0{,}00367.\,t}.\ \frac{H-f}{760}$$

das Gewicht des Stickstoffs

$$p_0' = 0{,}7905.\ 1^{gr}_{,}\ 2562.\ V.\ \frac{1}{1+0{,}00367.\,t}.\ \frac{H-f}{760}$$

Die Grössen V, H, t und f bleiben am Ende des Versuches dieselben wie beim Beginn. Wenn man annimmt, dass die Analyse der in $r''\ d'$ aufgefangenen Luft aus der Glocke folgende Volumina der in ihr enthaltenen Gase ergeben hat: $^1/_c$ CO_2, $^1/_b$ O und $^1/_a$ N, so wird das Gewicht der in der Glocke enthaltenen CO_2 sein:

$$p'' = {}^1/_c.\ 1^{gr}_{,}\ 9774.\ V.\ \frac{1}{1+0{,}00367.\,t}.\ \frac{H-f.}{760}$$

das Gewicht des Sauerstoffs:

$$p_1 = {}^1/_b.\ 1^{gr},\ 4298.\ V.\ \frac{1}{1 + 0{,}00367.\ t} \cdot \frac{H-f}{760}$$

des Stickstoffs:

$$p'_1 = {}^1/_a.\ 1^{gr},\ 2562.\ V.\ \frac{1}{1 + 0{,}00367.\ t}\ \frac{H-f}{760}$$

$(p_1 - p_0)$ ist also das Gewicht des in der Glocke am Ende des Versuchs enthaltenen Sauerstoffs; fügt man das Gewicht des von den Ballons N, N' N'' gelieferten Sauerstoffs hinzu, so hat man das ganze Gewicht des vom Thiere verzehrten Sauerstoffs.

Durch Addition des Gewichtes p'' zu der Menge der von dem Aetzkali condensirten Kohlensäure erhält man die ganze vom Thiere gebildete CO_2-Menge.

Endlich wird $(p_1 - p_0')$ die Menge des absorbirten oder ausgeathmeten Stickstoffs darstellen.

Die hier dargelegte Untersuchungsmethode ist so sorgfältig und exact ausgearbeitet, dass sie noch jetzt für ähnliche Versuche als die empfehlenswertheste zu betrachten ist. Es würde keine grosse Mühe kosten, sie derart zu modificiren, dass sie auch für geringe Beobachtungsdauer anwendbar wird, natürlich auch nur für kleinere Thiere.

Von den ältern Vorrichtungen, welche zu demselben Zweck gebraucht wurden, sind nur diejenigen noch als brauchbar zu nennen, welche die viel einfachere und leichter ausführbare Bestimmung der ausgeathmeten Kohlensäure zum Zwecke hatten, und von diesen obenan die Einrichtungen von Andral und Gavarret und von Scharling.

Die sehr einfachen Apparate von Andral und Gavarret sind auf Taf. XXIX in Fig. 3 und 4 wiedergegeben worden.

Einem Menschen wird eine gut schliessende Maske auf das Gesicht angebracht, welche, ohne die Respiration zu behindern, einen um die äussern Luftwege abgeschlossenen Raum bildet; in diesem Raum wird durch Ventile ein lebhafter Luftstrom in einer bestimmten Richtung unterhalten. Die Luft dringt von der Atmosphäre frei ein und wird an dem entgegengesetzten Ende der Maske mittelst luftleerer Ballons fortgerissen [1]).

Die Maske A (Fig 4) besteht aus Kupfer und ist vorn mit einem Glasfenster V versehen; durch einen Kautschukring wird sie luftdicht an das Gesicht befestigt, ohne aber einen unangenehmen Druck auszuüben. Der von der Maske abgeschlossene Raum ist gross genug, um die Luft einer ganzen Exspiration aufnehmen zu können. An beiden Seiten der Maske sind zwei Röhren T, angebracht, welche durch Ventile der Luft nur den Eingang von aussen her gestatten. Gegenüber der Mundöffnung befindet sich eine zweite Oeffnung O, durch welche die ausgeathmete Luft nach aussen gelangen kann.

Die Maske wird an's Gesicht befestigt, nachdem diese Oeffnung O durch Kautschukröhren mit einem System von Sammelballons N, N (Capacität=etwa 140 Liter) in Verbindung gesetzt ist, die vorher ganz luftleer gemacht wurden.

---

1) Die erste Idee ihrer Einrichtung gehört Dumas und Boussingault.

Ein graduirter Hahn war am Eingange dieser Ballons befestigt, durch dessen Einstellung die Stärke des Zuges, mit welcher die Luft aus der Maske entfernt wurde, regulirt werden konnte.

Die Athmung geschah bei gelungener Einstellung des Hahnes ganz in normaler Weise während 8—13 Minuten; die Menge der gesammelten Gase betrug etwa 130 Liter.

Nach Beendigung des Versuches wurde der Hahn geschlossen, die Maske entfernt und die Ballons mit einem Barometer *D* (Fig. 3) verbunden; man bestimmte dann die Temperatur im Innern der Ballons, den corrigirten Barometerstand von *D*, die Temperatur und den Barometerstand in der Umgebung. Bei bekannter Capacität der Ballons hatte man also alle Grössen, welche für die Bestimmung des Volums der gesammelten Gase bei 0^0 und 760 Mm. Druck erforderlich sind.

Zur Bestimmung der Menge der in diesem Gasvolum enthaltenen Kohlensäure diente die in Fig. 3 abgebildete Einrichtung von Leblanc. *M*, *M*, *M* stellen drei aspirirende Ballons dar, *L* eine Liebig'sche Röhre mit gekochter Schwefelsäure, *T* und *T'* zwei mit Bimstein, der von derselben Säure imbibirt war, gefüllte Röhren. Diese drei Röhren dienten zum Trocknen des Gases. *L'* und *T''* enthielten die erstere Kalilauge und die letztere alkalischen Bimstein — und dienten zur Absorption von CO_2.

T''', mit saurem Bimstein gefüllt, sollte die Wasserdämpfe entfernen, welche die Luft in dieser Röhre mitgenommen hat. Die Bewegung der Gase wurde von den aspirirenden Ballons *M*, *M*, *M* erzeugt, deren Wirkung durch den graduirten Hahn *B'* geregelt werden konnte. Im Verlauf von 12 — 15 Stunden wurden etwa 40 Liter Gas durchgeleitet. Die Bestimmung der CO_2-Menge wurde durch Wägung der Röhren *L'*, *T''* und *T'''* gegeben.

Die Scharling'sche Einrichtung bestand aus einem grossen Holzkasten, der durch verschiedene Mittel luftdicht gemacht war und in welchem ein Mensch bequem Platz finden konnte; dieser Kasten war mit zwei in Röhren auslaufenden Oeffnungen versehen, die eine für den Ein-, die andere für den Austritt der Luft. An dem ersten war ein Liebig'scher mit Kali gefüllter Kugelapparat angebracht; an dem letztern zwei nach einander stehende mit concentrirter Kalilauge gefüllte Röhren und ein Flacon mit Schwefelsäure; sodann folgte eine mit Kalkwasser gefüllte Röhre (um die volle Absorption des CO_2 zu constatiren) und endlich ein grosses Wasserfass mit Ausflussmündung, welches dazu diente, die Luft aus dem Holzkasten aufzusaugen. Durch einen Hahn konnte die Geschwindigkeit des Ausfliessens, also auch die Stärke der Aspiration regulirt werden. Wegen der Zartheit der Wände durfte die Aspirationsstärke nur sehr gering sein.

Die Ventilation in dem Scharling'schen Apparat scheint daher nicht besonders vollkommen gewesen zu sein und beschreibt er selbst, dass in der ersten Zeit ihres Aufenthaltes die eingeschlossenen Personen nicht selten von grossem Angstgefühl befallen wurden; einige wollten sogar nicht darin verbleiben (p. 484 l. c.).

Die später von Lehmann, Erlach und Philippi angewandten ähnlichen Vorrichtungen haben keine wesentlichen Verbesserungen herbeigeführt. Pettenkofer und Voit waren die Ersten, welche die Möglichkeit realisirt haben, Respirationsversuche am Menschen mit fast gleicher Genauigkeit auszuführen, wie die von Regnault und Reiset an Thieren angestellten. Wegen der grossen

Wichtigkeit der Untersuchungen, welche mit Hilfe dieses Apparates an Menschen und grösseren Thieren angestellt worden sind, wird seine detaillirte Beschreibung hier gewiss am Platze sein.

Der Pettenkofer-Voit'sche Apparat zeichnet sich ausser den speciellen Einrichtungen, welche seine grossen Dimensionen erforderten, durch vier wichtige Eigenthümlichkeiten, die dem Principe ihres Verfahrens zu Grunde gelegt sind, aus. —

1. Ihr Apparat ist nicht nur nicht luftdicht geschlossen, sondern gestattet von einer Seite her der Luft ganz freien Eingang. Die Bewegung der Luft wird durch ein mächtiges Pumpwerk nur nach einer Richtung — nämlich der Austrittsöffnung zu, gestattet; durch diese starke Luftströmung ist die Möglichkeit gegeben, die ganze, in den Apparat hineingelangende Luft zu sammeln, nachdem sie theilweise zur Athmung gedient hat. Nach dieser Richtung ist das schon von Andral und Gavarret sowie von Scharling benutzte Verfahren hier bedeutend vervollkommnet worden.

2. Da es bei der grossen Luftströmung, welche in den 2,34 Meter hohen und breiten und 3,24 Meter langen Raum stattfindet, unmöglich ist, die ganze Luftmenge auf ihren Kohlensäuregehalt zu prüfen, so begnügten sich Pettenkofer und Voit mit der Bestimmung der Kohlensäure in kleinen Proben der Luft, welche in den Apparat ein- und austritt.[1])

Diese Bestimmungsweise könnte zu sehr grossen Fehlern führen, die einerseits von einer nicht genügenden Mischung der Luft im Apparate und andererseits daher rühren könnten, dass bei der Multiplication des erhaltenen Werthes mit einem sehr grossen Factor (dem Verhältniss des Volums der Luftprobe zu dem der ganzen Luftmenge) auch der Versuchsfehler um dieselbe Grösse multiplicirt wird.

Durch eine Probe mit der Verbrennung einer Stearinkerze von bekanntem Gewicht in diesem Apparat haben sich aber diese Forscher überzeugt, dass solche Fehler nicht zu befürchten sind. Die Berechnung der Menge der bei dieser Verbrennung gebildeten CO_2 und H_2O, welche nach einigen Proben gemacht wurde, ergab genau die aus dem Gewichte der Kerze ermittelten Werthe.[2])

3. Um die Luft bei ihrer Durchleitung durch die zur Untersuchung des CO_2-Gehaltes nicht auf dem langen Wege noch CO_2 absorbiren zu lassen[3]), hat Pet-

---

1) Andral und Gavarret haben die Prüfung der eintretenden Luft auf Kohlensäure ganz unterlassen, indem sie, auf Leblanc's Untersuchung gestützt, den daraus entstehenden Fehler als zu vernachlässigenden betrachten. Scharling hat durch einen Liebig'schen Kaliapparat die Luft bei ihrem Eintritt in den Apparat von CO_2 zu befreien gesucht.

2) Es hat sich später herausgestellt, dass die Verbrennung der Stearinkerzen zwar für die Bestimmung der CO_2 vollkommen genau ist, dass dies aber für die Bestimmung von H_2O nicht der Fall ist; und zwar sind die Wassermengebestimmungen geringer ausgefallen, als zu erwarten war (Henneberg). Dies rührt, wie Voit und Forster unlängst nach einer mühevollen Untersuchungsreihe herausgebracht haben, von der unvollständigen Verbrennung der Stearinsäure zu Wasser, nicht aber von etwaigen Mängeln des Apparates selbst her. Sie benutzen daher jetzt zur Prüfung des Apparates auf die Genauigkeit seiner Angaben für Wasser die Verdampfung einer bestimmten Wassermenge.

3) Nach Pettenkofer's Erfahrungen soll bei dem blossen Saugen einer kohlensäurefreien Luft durch mehrere Röhren dieselbe durch Diffusion von aussen kohlensäurehaltig werden können (l. c. p. 23).

tenkofer diese Luft nicht nur durch Aspiration, sondern auch durch Druck in Bewegung gesetzt.

4. Die Bestimmung der Menge der gebildeten Kohlensäure geschieht in dem Pettenkofer'schen Respirationsapparate nicht durch Wägung, sondern durch eine viel genauere Titrirmethode, die in einem der nächsten Paragraphen beschrieben werden soll.

Wir können jetzt zur nähern Beschreibung dieses Apparates, wie er auf der Taf. XXX Fig. 5 dargestellt ist, schreiten. *A* ist die zur Aufnahme des Thieres[1]) bestimmte Kammer; sie ist aus Eisenblech gebaut und mit Glasfenstern und einer Thüre versehen. Die Luft dringt in die Kammer durch die Spalten und Oeffnungen an der Thüre und tritt durch zwei weitere Röhren an der entgegengesetzten Seite aus, die sich dann bei *c* zu dem Untersuchungsrohr vereinigen. Dieses Rohr führt zuerst in den Befeuchtungsapparat *B*, der mit grossen Bimsteinstücken ausgefüllt ist, welche durch öfteres Aufgiessen von Wasser feucht erhalten werden. Der Befeuchtungsapparat dient dazu, um die durchgehende Luft mit Wasser zu sättigen, damit sie später aus der feuchten Gasuhr gar kein oder nur sehr wenig Wasser mitnimmt. Aus der Befeuchtungskammer gelangt die Luft in die nasse Gasuhr *C*, deren Messtrommel durch 6 Zifferblätter das Volum der sie durchströmenden Luft anzeigt. Eine Controluhr, die mit einem Bleistifte die zu verschiedenen Zeiten durch die Gasuhr gegangenen Luftmengen markirt, dient dazu, um auch bei Abwesenheit des Beobachters den Gang der Ventilation im Apparate controliren zu können.

Die Luftdichtigkeit[2]) der Leitungsröhren wird durch besondere Prüfungen gesichert; etwaige Undichtigkeiten an den Kammerwänden stören insofern nicht, als in die Kammer überhaupt so viel Luft eintreten muss, wie durch die Gasuhr durchgepumpt wird.

Ein in dem Untersuchungsrohr *c* angebrachtes Wassermanometer zeigt auch bei dem stärksten Luftstrom keine Differenz im Stande seines Niveaus; man kann also annehmen, dass in der Kammer der gleiche Barometerstand wie in der umgebenden Atmosphäre herrscht.

Die Bewegung der Luft wird durch zwei Saugcylinder bewerkstelligt, welche durch eine Dampfmaschine von zwei Pferdekraft in Bewegung gesetzt werden. Die Regulirung der Ventilationsstärke geschieht durch Veränderungen sowohl der Hubhöhe wie der Hubzahl der Saugcylinder.

Diese Saugcylinder setzen mittelst eines besondern Uebertragungsmechanismus noch zwei kleine Pumpen *k*, *k* in Bewegung, welche geringe, aber immer gleiche Luftproben durch die Vorrichtungen senden, wo sie auf ihren Kohlensäuregehalt

---

1) Die in der Fig. 5 gezeichnete Kammer ist die von Henneberg u. A. für grosse Thiere (Ochsen etc.) construirte.

2) Die Prüfung der Dichtigkeit ist natürlich bei diesem Apparate von der grössten Wichtigkeit. Sie wird hauptsächlich in der Weise ausgeführt, dass in den Quecksilberpumpen durch Einsaugung von Luft das Quecksilber in die Höhe gehoben und dann die Zuleitungsröhre neben dem Hauptrohr zugeklemmt wird bleibt das Quecksilber in derselben Höhe, so ist der Schluss luftdicht; senkt es sich allmählich, so dringt irgendwo Luft aus; die Stelle, wo dies geschieht, wird dann ermittelt, indem man die Leitung an verschiedenen Stellen absperrt und den Versuch wiederholt.

geprüft werden. Diese Luftproben, welche immer denselben Bruchtheil der ganzen durch den Apparat gehenden Luftmenge darstellen müssen, werden durch diese Röhren aus dem schon erwähnten Grunde nicht nur durch Saugung, sondern auch durch Druck in Bewegung gesetzt. Die dazu verwendeten Saug- und Druckpumpen *k*, *k* sind einfache, mit Quecksilber gefüllte Glascylinder, welche mittelst U-förmig gekrümmter Röhren mit den Fläschchen *ll* communiciren, die ihrerseits nichts anderes sind, als die uns schon von früher her bekannten Ventile, wie sie Regnault, W. Müller und A. zu ähnlichen Zwecken verwendeten. In diese Glascylinder *k*, *k* werden nun durch eine von den grossen Saugpumpen kommende Hebelvorrichtung abwechselnd Glasglocken gesenkt; die Luft dieser Glocken wird verdichtet und entweicht durch das eine Ventil, während das andere abgesperrt wird. Um das Spiel dieser Pumpen zu verstehen, denke man sich, man habe zwei solche Spirometer, wie sie auf Taf. XXVIII in der Fig. 2 abgebildet sind, und dass abwechselnd da in den einen, da in den anderen die Glocken in die Cylinder gesenkt werden.

Die eine dieser kleinen Pumpen saugt die Luft neben der Thüre der Kammer *A* (durch *i*), ehe sie in diese Kammer eintritt, die andere dagegen — aus dem Untersuchungsrohr *c* (durch *d*), wie sie aus der Kammer herauskommt; jede Pumpe geht zehn Mal in der Minute und befördert bei jedem Hub 8—9 Cub.-Cent. Luft. In der Minute können also 10 Proben der ein- und der ausströmenden Luft für die Untersuchung genommen werden. Von diesen Pumpen geht die Luft durch ein System von Röhren zu 2 kleinen Gasuhren *DD*, wo sie von ihrer Kohlensäure befreit und mit Wasser gesättigt anlangt und dann nach vorheriger Messung entweicht. Dieses System von Röhren *gg* und *hh*, in welche die Luft aus dem Quecksilberventile *ll* gelangt, dient theils, um sie mit Wasser zu sättigen, theils zur Absorption von Kohlensäure. Zu diesem Ende sind die U-förmigen Röhren *gg* mit befeuchtetem Bimstein, und die einen Meter langen Röhren *hh* mit Barytwasser gefüllt. Eine solche Barytwasserröhre ist in Fig. 4 derselben Tafel besonders abgebildet; sie sind in Haltern befestigt, die ihnen eine beliebige Schräge zu geben gestatten, eine Einrichtung, welche dem Fortrücken der einzelnen Luftblasen mit einer die Bildung grösserer Blasen hindernden Geschwindigkeit sehr förderlich ist. Der graduirte Hahn *p* erlaubt es, die Luft in grösseren oder kleineren Mengen in dieses System von Röhren gelangen zu lassen.

Will man auch den Wassergehalt der Luftproben bestimmen, so schaltet man gleich nach diesem Hahn gewogene Röhren mit Bimstein und Schwefelsäure gefüllt ein.[1]) Ehe die Luft aus den Röhren *hh* zu den Gasuhren gelangt, geht sie noch

---

1) In letzterer Zeit hat Voit die früher dazu benutzten Glaskölbchen, welche mit doppelt tubulirtem Kork und Siegellack verschlossen wurden, aufgegeben und zwar, weil sie zu mehreren Ungenauigkeiten Veranlassung gegeben haben: Umwandlung der Schwefelsäure in schweflige Säure durch Berührung mit Kork und Siegellack, Abspringen von Siegellackstückchen beim Reinigen etc. — mit einem Worte aus mehreren Ursachen, welche die Genauigkeit des Wägens beeinträchtigen. Jetzt verwendet Voit zu diesem Zwecke nur Glaskolben, welche mit sorgfältig eingeschliffenem Glasstöpsel, der mit dem Abzugsrohr verbunden ist, verschlossen sind. Das Zugangsrohr ist in dem Kölbchen selbst eingeschmolzen und reicht bis zu dem Boden. Durch den Hals dieses Kölbchens werden die Bimsteinstückchen hereingeführt, die vorher geglüht und noch heiss in reine concentrirte Schwefelsäure getaucht wurden.

durch kürzere Barytwasserröhren $h'h'$ durch; hier findet schon gar keine Kohlensäureabsorption mehr statt (nicht einmal ein Milligramm auf 140 Liter Luft).

Die Ausführung der Respirations-Versuche mit dem Pettenkofer'schen Apparate, sowie die Berechnung der Resultate ist, was die Kohlensäure anbetrifft, ziemlich einfach.

Nachdem die Saugpumpen etwa während $^1/_2$ Stunde die Luft in der Kammer ventilirten, die Barytwasserröhren in erforderlicher Weise gefüllt und alle übrigen Vorbereitungen getroffen sind, wird das zu beobachtende Individuum in die Kammer eingeführt, der Hahn p mit dem Röhrensystem in Verbindung gesetzt, und der Versuch hat begonnen. Der Stand der Gasuhren wird beim Beginn abgelesen, und während der Beobachtung werden nur von Zeit zu Zeit die Bimsteingefässe mit Wasser übergossen und alle 2 Stunden von Zeit zu Zeit der Thermometerstand an der grossen und den beiden kleinen Gasuhren abgelesen. Will man den Versuch unterbrechen, so genügt es, eine halbe Minute zuvor den Dampf von der Maschine abzuschliessen. Die Saugapparate gehen diese Zeit noch fort. Sobald der Luftstrom aufhört, wird der Stand der Gasuhren wieder abgelesen und das Individuum aus der Kammer entfernt.

Das Barytwasser wird dann in Kolben übergeführt, um später titrirt zu werden. Bei der Berechnung der Versuchsresultate müssen natürlich die Luftmengen in den grossen und kleinen Gasuhren auf gleiche Temperatur und Feuchtigkeit gebracht werden. Die alle zwei Stunden gemachten Thermometerablesungen sowie die Feuchtigkeitsbestimmungen mittelst des Psychrometers geben dazu die Mittel an die Hand.

Man berechnet sodann, wie viel Gramme Kohlensäure in 1000 Litern der ein- und ausgetretenen Luft durch die Titrirung gefunden wurden und zieht den CO_2-Gehalt der ersteren Luft von dem der letzteren ab; man weiss dann, wie viel 1000 Liter Luft durch die Athmung und Verdunstung an CO_2 zugenommen haben. Da man die Menge der durch den Raum durchgegangenen Luft kennt, so erhält man auf diese Weise die Menge der während der Beobachtungszeit gebildeten CO_2. Hierzu muss noch die in der Kammer zurückgebliebene Kohlensäure hinzugefügt werden, welche sich bei der Voraussetzung, dass die in der Kammer enthaltene Luft denselben Procentgehalt CO_2 hat, wie die durch die grosse Gasuhr gegangene, leicht bei bekanntem Inhalt berechnen lässt.

Die Berechnung des während der Beobachtungszeit verzehrten Sauerstoffs kann hier nur mittelst der indirecten Methode bewirkt werden, wozu eine genaue Wägung des Beobachtungsthieres vor und nach dem Versuche, sowie der von ihm zu sich genommenen Nahrungsmittel und abgeschiedenen Se- und Excretionsproducte nothwendig ist. Dieser Respirationsapparat ist durch Bestimmungen letzterer Art bekanntlich auch von grosser Wichtigkeit für das Studium des ganzen Stoffwechsels geworden.[1])

---

1) In letzterer Zeit hat Voit nach dem Muster des Pettenkofer'schen einen Respirationsapparat construirt, der sich ganz vorzüglich für Respirationsversuche an kleineren Thieren eignet. Die Dampfmaschine ist ganz weggelassen und durch ein kleines Wasserrad ersetzt, zu dessen Bewegung schon ein ganz kleiner Druck hinreichend ist. Dieses Rad setzt einen Motor in Bewegung, welcher zur Ventilation der Kammer und der Leitungen und gleichzeitig

Es erübrigt uns noch, einige der von Ludwig construirten Vorrichtungen zu beschreiben, welche zum Studium des Gaswechsels durch die Lungen dienen.

Diese Vorrichtungen eignen sich besonders zu Bestimmungen des Gaswechsels während sehr kurzer Zeiträume, also zur Erklärung der Einflüsse, welche kurz anhaltende Veränderungen der inneren oder äusseren Lebensbedingungen des Thieres auf den Gaswechsel auszuüben vermögen.

Die älteste dieser Vorrichtungen, welche Sczelkow in Ludwig's Laboratorium erprobt hat, ist wegen ihrer Umständlichkeit von Ludwig aufgegeben und durch eine andere ersetzt worden, die zuerst Kowalevsky versucht und dann nach bedeutender Vervollkommnung Sanders-Ezn beschrieben hat.

Auf Taf. XXVIII Fig 1 ist ein Schema dieser Einrichtungen gegeben, das sie am besten verständlich machen wird. Der Ludwig'sche Respirationsapparat besteht ebenso wie der Regnault'sche aus drei Theilen: 1) Einem Ventilationsapparate, der zur Absorption der Kohlensäure dient, 2) einer Vorrichtung zum Ersatz des verzehrten Sauerstoffs und 3) einem Verbindungsstücke zwischen dem Thiere und den Athmungsapparaten.

Auf der Zeichnung sind die zur ersten Abtheilung gehörenden Theile mit kleinen, die zur zweiten mit grossen Buchstaben und die zur dritten mit Zahlen bezeichnet.

Auf die enthaarte Schnauze des Kaninchens wird eine Maske befestigt, die aus einer Kautschukkappe *(1)*, welche luftdicht an eine Messingscheibe *(2)* angepasst ist, besteht. Der messingene Hahn *(3)* ist an der Seite dieser Scheibe angebracht und mit Durchbohrungen versehen, welche es gestatten, den Raum der Kappe nach Belieben mit den Athmungsapparaten oder mit der atmosphärischen Luft zu verbinden. Zwei aus diesem Hahn entspringende Röhren *(4* und *5)* führen zu den Absorptionskugeln; die eine dieser Röhren *(4)* bildet in der Buchtung des Hahnes eine rechtwinkelige Biegung nach unten, so dass sie frei in den hohlen

---

als Compteur fungirt. Die übrigen Einrichtungen sind wie in dem Pettenkofer'schen Apparat, nur sind die Müller'schen Ventile durch andere ersetzt, welche nach Voit's Versicherung viel genauer schliessen und fast gar keinen Widerstand bieten. Diese Ventile bestehen aus zwei ovalen Glascylindern, welche von beiden Seiten in Glasröhren auslaufen, die unter stumpfen Winkeln angeschmolzen sind. Beide Cylinder sind in einem Stativ derart befestigt, dass diese Röhren nach oben gerichtet sind; der eine ist aber mehr nach vorne, der andere mehr nach hinten geneigt. Füllt man diese Cylinder mit etwas Quecksilber, so schliesst das Quecksilber in dem einen Cylinder die vordere, in dem anderen die hintere Oeffnung, je nachdem der Luftzug zu oder von den Pumpen kommt, indem es nur eines äusserst geringen Anstosses bedarf, um das Quecksilber nach der tieferen Seite so weit zu senken, dass die Oeffnung dabei verschlossen bleibt. Durch Regulirung der gegenseitigen Neigung der beiden Cylinder sowohl, wie durch die zu wählende Quecksilbermenge kann der Widerstand dieser Ventile auf ein Minimum reducirt werden.

Besondere Sorgfalt verwendet Voit jetzt auch auf häufige Aichung der Gasuhren, auf genauere Controle der Luftdichtigkeit etc.

Da in diesem kleinen Apparate überdies die zur Untersuchung gelangende Luft einen viel grösseren Bruchtheil der ganzen durch den Apparat gehenden Luft darstellt — so ist auch dadurch seine Genauigkeit bedeutend erhöht.

Ich habe den Apparat auf der Durchreise durch München, während er in Thätigkeit war, gesehen. Nächstens soll in der Zeitschrift für Biologie seine genaue Beschreibung durch Voit erfolgen.

Kappenraum mündet; die Mündung der anderen Röhre *(5)* ist nach der entgegengesetzten Richtung gewendet. Beide Röhren durchsetzen den Hahn *a* und gehen als die Röhren *b, c* getrennt zu je einer Absorptionskugel. Die Hülse dieses Hahnes ist um ihren Kern in zwei Lagern drehbar, wobei die Ausläufer *b* und *c* des Kugelapparates um die Mündungen der Röhren *4* und *5* bewegt werden.

Dieser Kugelapparat ist mit Quecksilber, Barytlösung und Luft gefüllt. Die Hohlräume dieser Kugelapparate sind also durch Quecksilber und Barytwasser von einander getrennt; die Drehungen dieses Apparates um *a* dürfen nie so gross sein, um diese Trennung auch nur für einen Augenblick zu unterbrechen. Die Bedeutung dieser Kugeln ist ganz dieselbe wie die der CO_2-Pipetten im Regnault'schen Apparat; nur werden sie mit der Hand, statt mit einem Uhrwerk in Bewegung gesetzt.

Der durch die Ventilation erzeugte Luftstrom erstreckt sich aber über den Luftraum der Kappe hinaus bis zum Ort, wo der Sauerstoff eintritt *(8)* und zwar Dank der Fortsetzungsweise der Röhre *5*. Unmittelbar vor dem Ende dieser Röhre geht aus dem Hahn *3* die Röhre *4* zur Sauerstoffröhre hin, welche also mit dem Raum der Kappe nicht communicirt. Bei dem Hahne *8* verschmilzt diese Röhre *7* mit der Röhre *6*, welche aus diesem Hohlraum herkommt, zu einer gemeinschaftlichen Röhre, die die Ausflussmündung der Sauerstoffröhre in sich aufnimmt.

Bei dem Spiel der Ventilationskugeln wird also ein Luftstrom erzeugt, der das eine Mal von diesen Absorptionskugeln durch die Röhre *5* und *7* zu *8* geht und von dort durch *6* und *4* zurückkehrt, oder umgekehrt von *4* und *6* nach *7* und *5* zurück. Die Ventilation in der Kappe ist also eine sehr vollständige. —

Der Apparat, welcher den verzehrten Sauerstoff fortwährend zu ersetzen hat, besteht aus der graduirten Kugel *E*, die durch die ebenfalls graduirte Röhre *D*, die oben T-förmig gestaltet ist, einerseits durch das Manometer *C* abgeschlossen ist, andererseits mit *B* und dem Hahne *8* in Verbindung steht. Durch die untere Röhre *F* communicirt diese Kugel mit *G* und dann mit dem Hahn *H*, welcher zum Abschluss des Wassergefässes *I* dient. Die Bedeutung des Hahnes *K* nebst Trichter ist von selbst verständlich. —

Dagegen verdient die Bedeutung der Röhre *L* und des Ansatzstückes *M* besonders hervorgehoben zu werden, da durch diese höchst sinnreiche Einrichtung eben der regelmässige Ersatz des Sauerstoffs ermöglicht wird. Die Röhre *7* trägt nämlich einen Seitenansatz *N*, der durch eine elastische Platte verschlossen ist. Dieser Ansatz communicirt mit dem Raum der Kappe, und jede in dieser letzteren stattfindende Luftverdünnung oder Verdichtung setzt sich selbstverständlich auf den Hohlraum des Ansatzstückes fort, wobei jede Verdichtung die Platte etwas nach aussen hervorwölbt — jede Verdünnung dieselbe einzieht.[1])

Die Kautschukröhre *LM* lenkt nun in ein offenes Glasröhrchen, das mit seinen abgeschliffenen Rändern so genau an dieser Platte anliegt, dass sein Lumen durch sie verschlossen wird, wenn diese letztere in derselben Ebene wie die Ränder der Röhre zu liegen kommt. Bei der leisesten Einziehung der Platte durch Luftverdünnung wird also die Mündung der Röhre frei; in Folge dessen muss das Wasser

1) Man denke sich nur, dieses Ansatzstück sei eine Art Marey'scher Lufttrommel, und dieses Spiel wird sofort klar werden.

aus dem Gefässe *I* bei geöffnetem Hahn *H* in die Kugel *k* eindringen und so den Sauerstoff vor sich treiben. Sobald aber Sauerstoff in den verdünnten Raum des Ansatzstückes *N* eindringt, wird die Platte wieder an die Mündung des Röhrchens *M* angelegt und damit das fernere Ausfliessen des Wassers gehemmt.

Dieser Mechanismus regulirt nun die Sauerstoffzufuhr in der Weise, dass jede durch Sauerstoff-Absorption von Seiten des Thieres und CO_2-Absorption von Seiten der Kugeln *d* und *e* erzeugte Luftverdünnung im Luftraume der Kappe durch Freimachung der Mündung von *M* einen Sauerstoffzufluss erzeugt, welcher den Luftdruck wieder so weit erhöht, dass diese Mündung durch Hervorwölbung der Platte von Neuem geschlossen wird.

Wegen der näheren Beschreibung dieses Apparates sowie der Discussion seiner Fehlergrenzen muss auf die ausführliche Darstellung von Sanders-Ezn und die Abhandlung von Scheremetewsky verwiesen werden; in dieser letzteren ist auch ein sicherer Abschluss der Sauerstoffkugel beschrieben, der es erlaubt, während wochenlanger Aufbewahrung keine Verunreinigung des Sauerstoffs zu befürchten. Für kurzdauernde Versuche zu schon oben erwähnten Zwecken ist diese Versuchsanordnung bei der Beobachtung aller nothwendigen Vorsichtsmaassregeln als eine höchst zweckentsprechende zu bezeichnen. Die aus der Lagerung und Festbindung des Thieres sowie aus einigen anderen Nebenumständen des Versuches etwa entstehenden Störungen des normalen Athmungsprocesses kommen insofern bei solchen Versuchszwecken weniger in Betracht, als es sich bei ihnen nur darum handelt, bei der Unveränderlichkeit aller übrigen Versuchsbedingungen den Einfluss eines einzigen veränderlichen Factors zu eruiren. Hat man also während eines bestimmten Zeitraums das Thier vor der Einwirkung dieses Factors unter denselben Bedingungen athmen lassen und seine Respirationsprocesse bestimmt, so kann man später die erhaltenen Respirationsbeobachtungen mit diesen Bestimmungen sehr gut vergleichen. —

Die Berechnung der Versuchsresultate ist hier sehr einfach; die Bestimmung der Kohlensäuremenge geschah nach der Pettenkofer'schen Titrirmethode mit einer später zu beschreibenden Modification.

Von den einfacheren Respirationsversuchen, welche sich für Demonstrationen eignen, sind hauptsächlich diejenigen von Wichtigkeit, welche die Fähigkeit des Thieres beweisen, 1) aus einem abgeschlossenen Raume allen Sauerstoff aufzuzehren, wenn dessen Partiardruck auch bedeutend niedriger als der in der Athmosphäre ist, und 2) Kohlensäure durch die Lunge auszuscheiden. — Das Erstere beweist man am besten mit Hilfe des W. Müller'schen Verfahrens. Zu diesem Zwecke vereinigt man die Trachealcanüle des Thieres mit den schon bekannten Ventilen, die man mit einer Chlorcalciumlösung füllt, und verbindet dann das Inspirationsventil mit einem Sauerstoffgasometer. Nachdem das Thier längere Zeit aus diesem Gasometer geathmet, wobei es die exspirirte Luft an die umgebende Atmosphäre abgegeben hat, wenn man also annehmen kann, dass sämmtlicher Stickstoff aus der Lunge entfernt wurde, verbindet man auch das Exspirationsventil mit dem Gasometer und lässt das Thier bis zur vollen Asphyxie athmen: man findet dann fast allen Sauerstoff aus dem Gasometer verschwunden und durch CO_2 ersetzt. Noch einfacher kann man dasselbe beweisen, wenn man ein kleines Thier unter eine Glasglocke bringt, die man durch Quecksilber oder auf eine an-

dere Weise abschliesst. Sobald das Thier asphyktisch wird, findet man auch hier fast allen O verzehrt.

Um die Kohlensäureausscheidung zu zeigen, genügt es, das Exspirationsventil mit einer Flasche, in der sich eine Barytlösung oder Kalkwasser befindet, zu verbinden.

Die Beschreibung der Vorrichtungen, welche zuerst von Matteucci, Valentin, Cl. Bernard, dann von Ludwig und seinen Schülern (Sczelkow, A. Schmidt u. A.) und von Herrmann über die Respiration der Muskeln verwendet wurden, gehört ihrer zu speciellen Zwecke wegen nicht hierher. Von den Principien der hier beschriebenen allgemeinen Verfahren ausgehend, lassen sich übrigens solche specielle Einrichtungen schon ohne Schwierigkeiten in jedem gegebenen Falle herrichten. Dasselbe gilt auch von den Vorrichtungen, welche in letzterer Zeit Pflüger's Schüler (Strassburg und Wolfgang) mit Erfolg angewandt haben, um aus den abgebundenen Lungenpartien mittelst besonders hergerichteter Katheter einzelne Luftproben zu schöpfen und so den CO_2-Gehalt der Luft bei verschieden langem Verbleiben in der Lunge zu bestimmen.

§ IV. Methoden zur Gewinnung der Blutgase.

Die jetzt zur Gewinnung der Blutgase verwendeten Methoden sind bis zu einer solchen Vollkommenheit ausgebildet worden, dass die älteren von Magnus und Lothar Meyer benutzten jetzt nur noch ein historisches Interesse beanspruchen können.

Magnus trennte die Blutgase dadurch, dass er in einem mit Blut und Quecksilber gefüllten Raume eine Luftverdünnung mittelst einer gewöhnlichen Luftpumpe erzeugte; ein Theil der Blutgase entwich unter dem Einflusse des verminderten Druckes und konnte auf diese Weise untersucht werden.

Auch Lothar Meyer benutzte einen luftleeren Raum, um die Gase vom Blute zu trennen. Er liess das Blut (unter Luftabschluss) in ein Gefäss mit Wasser, das durch vorheriges Kochen von seinen Gasen vollständig befreit wurde, eintreten. Dieses auf etwa 40° abgekühlte, vollständig abgeschlossene Gefäss hatte einen luftleeren Raum, in welchem die Gase des Blutes gesammelt wurden. Um die Blutgase auszutreiben, liess L. Meyer das Blut allmählich bis zum Kochen erwärmen, bis nur reiner Wasserdampf aus ihm emporstieg; als alle freien Gase auf diese Weise entfernt waren, setzte er ihm einige Krystalle von Weinsteinsäure hinzu und erwärmte nun das Blut von Neuem, um die etwa noch gebundene CO_2 aus der Lösung herauszutreiben. Die mit dieser Methode erhaltenen Werthe waren schon denen nahe, die später mit präciseren Verfahren erhalten wurden.

Erst durch die Benutzung der Toricelli'schen Leere zur Auspumpung der Blutgase, welche im Jahre 1858 von Setschenow mit dem von Ludwig hierzu construirten Apparate zum ersten Male versucht wurde, ist die Möglichkeit gegeben worden, allmählich die vollkommenen Blutentgasungsapparate zu construiren, die wir jetzt besitzen.

Die drei jetzt am meisten bei Untersuchung der Blutgase benutzten Gaspumpen sind auf Taf. XXXI in Fig. 1, 4 und 3 dargestellt; die eine ist die Ludwig'sche, die andere die Pflüger'sche, theilweise nach Helmholtz's Angaben von

Geissler construirte; die dritte ist von Alvergniat construirt und von Gréhant mehrmals geprüft und verbessert worden.[1])

Die ursprüngliche Ludwig'sche Gaspumpe, welche bei den ersten Gasanalysen von Setschenow, Schäffer, Sczelkow, Holmgren und Preyer benutzt wurde, war sehr schwer zu handhaben und erforderte längere Zeit zur Gewinnung aller Blutgase. Diese Schwierigkeiten mögen wohl der einzige Grund gewesen sein, dass trotz der Wichtigkeit der schon in Wien von Ludwig's Schülern gewonnenen Resultate diese ältere Pumpe keine weitere Verbreitung gefunden hat.

Die Principien der ersten Ludwig'schen Pumpe sind auch in alle späteren übergegangen; wir werden daher zuerst diese Grundprincipien darlegen und dann zu ihrer näheren Ausführung in den jetzt verwendeten Pumpen schreiten.

Durch Benutzung der Toricelli'schen Leere ist der erste grosse Fortschritt bei der Gewinnung der Blutgase geschehen, denn nur bei Erzeugung eines absoluten Vacuums konnte man hoffen, alle Gase aus dem Blute zu entfernen. Die Herstellung der Toricelli'schen Leere dieser Pumpen geschieht im Allgemeinen auf dieselbe Weise wie in den Barometern durch Auslassen von luftfreiem Quecksilber aus einem oben abgeschlossenen Cylinder. Verband man den gebildeten freien Raum einerseits mit einem Blutrecipienten, in welchem sich ein genau gemessenes Blutvolumen befand, und andererseits mit einem ursprünglich mit Quecksilber gefüllten Eudiometer (Messcylinder) zum Auffangen der entweichenden Gase, so waren damit die ersten Bedingungen zu einer erfolgreichen Gasgewinnung aus dem Blute gegeben.

Sobald das Eudiometer sein Quecksilber gegen die aufgefangenen Gase ganz ausgetauscht hat, musste es abgesperrt, das in den luftleeren Raum eingetretene Blut durch Nachschieben von Quecksilber daraus zurück in den Recipienten gebracht und der Raum von Neuem luftleer gemacht werden. Wiederholte man diese Operation mit demselben Blute mehrere Mal, solange überhaupt noch Gasbläschen aus dem Blute aufstiegen und setzte später nach L. Meyer's Vorgange etwas Weinsteinsäure hinzu: so konnte man alle Gase aus dem Blute entfernen.

Auf diese Weise war es auch möglich, grössere Blutmengen zu entgasen, ohne zu grosser luftleerer Räume zu bedürfen. Das Quecksilber, welches zur Herstellung des Vacuums benutzt werden sollte, musste vorher selbst einen luftleeren Raum durchwandern, um von der in ihm enthaltenen Luft befreit zu werden.

Da man die gewonnenen Gase nur nach einem kleinen Zusammenpressen in den Eudiometer hineinbringen konnte, so musste, um den Rücktritt der Gase durch Absorption in's Blut zu verhüten, das Blut erst ganz von den Gasen getrennt werden, ehe man diese letzteren einem höheren Drucke unterwirft.

---

1) In England ist die von Frankland modificirte Sprengell'sche Luftpumpe mehrfach zur Gasanalyse des Blutes benutzt worden. So vorzüglich sich die Frankland'sche Pumpe für die Analyse der in Wasser enthaltenen Gase erweist, so kann deren Gebrauch bei Gasanalysen des Blutes, wo es vorzugsweise auf schnelle Entgasung ankommt, nur da für zulässig gehalten werden, wo es sich nur um Demonstrationszwecke handelt, wo es also auf Gewinnung der vollen Gasmengen nicht ankommt.

Die Messung der Blutvolumina geschah bei dem früheren Verfahren dadurch, dass man das Blut unter Quecksilber in graduirte Messcylinder brachte, wo sein Volum vor seiner Verbindung mit dem luftleeren Raume genau abgelesen wurde; dies musste vorher geschehen, weil das Blut bei seiner Entgasung durch Verdunstung nicht zu vernachlässigende Wassermengen einbüsst, die dann an den Wänden des Gefässes hängen bleiben.

Schon die ersten in Ludwig's Wiener Laboratorium ausgeführten Gasanalysen haben die Nothwendigkeit ergeben, das Blut so schnell als möglich in den für die Entgasung bestimmten Recipienten zu bringen. Wo dies wegen der grösseren Menge des zu entgasenden Blutes nicht möglich war, da bewahrte man das Blut vorläufig in Behältern, welche in Eiswasser gestellt waren. Dies sollte keinen anderen Nachtheil haben, als dass es einen Theil der chemisch gebundenen CO_2 frei machte.

Das vulkanisirte Kautschuk, welches zur Verbindung der einzelnen Glasstücke verwendet wurde, musste vorher durch stundenlanges Liegen in warmer Kalilauge so weit als möglich gereinigt und so lange mit Wasser übergossen werden, bis das letztere keine alkalische Reaction mehr zeigte. Nach sorgfältigem Trocknen wurden die Kautschukröhren 7—8 Stunden in reinem geschmolzenen Talg erwärmt, um ganz luftdicht gemacht zu werden. Wurden sie dann durch fleissiges Waschen von ihrem Fette befreit, so konnten sie als vollkommen brauchbare Verbindungsmittel zwischen den Gasbehältern benutzt werden.

Um die Geschwindigkeit der Entgasung zu erhöhen, wurde der Blutrecipient bis zur Körpertemperatur erwärmt, ein Verfahren, welches, wie die Erfahrung zeigte, von keinem schädlichen Einflusse auf den Zweck der Untersuchung war.

Dies waren die Hauptgrundzüge des Verfahrens, welches Ludwig bei in seinem Laboratorium ausgeführten Blutgasuntersuchungen mit solchem Erfolge anwendete. Dieselben Grundzüge sind auch in der jetzt von ihm verwendeten Gaspumpe beibehalten worden, nur sind sie, was die Detailausführung des Apparates anbetrifft, in einer viel vollkommeneren Weise verwirklicht worden.

In ihrer jetzigen Gestalt ist die Ludwig'sche Pumpe auf Taf. XXXI Fig. 1 dargestellt. *A* und *A'* sind zwei Glasellipsoide, welche mit luftfreiem Quecksilber gefüllt sind. Ihre unten verjüngten Enden stehen mit starken Gummischläuchen in Verbindung, die mit Leinwand überzogen sind. Die Wände dieser Schläuche sind fest genug, um den gewöhnlichen inneren und äusseren Druckschwankungen nicht nachzugeben. Oben können die Hälse dieser Behälter mit Gummipfropfen verschlossen werden.

Die aufsteigenden Schenkel der Kautschukschläuche sind auf zwei vorzüglich gearbeitete, konisch zugeschliffene Glashähne *a* und *c* befestigt, welche vollständig luftdicht schliessen. (Diese Hähne ersetzen mit grossem Vortheil die früher angewendeten Verschlüsse aus Kautschukröhren, die durch eiserne L. Meyer'sche Klemmen (s. Taf. VI Fig. 6) zusammengekneift wurden.) Der Hahn *a* schliesst die untere Oeffnung des ellipsoiden Glasbehälters *B* ab, *c* die Oeffnung des Ellipsoids *B'*.

Zwischen *c* und dem Ellipsoid *B* ist noch ein zweiter Hahn *b* eingeschaltet, der dessen obere Oeffnung abschliessen kann; dem entsprechend trägt auch der Hals des Ellipsoids *B'* einen Glashahn *d*. Das Ellipsoid *B* trägt eine Ansatzröhre

mit zugeschliffener Mündung, in welche der ebenfalls zugeschliffene Zapfen des Blutrecipienten luftdicht hineinpasst. (Dieser Recipient besitzt bei Ludwig die Form eines länglichen weiten Cylinders, der unten in eine kugelige Erweiterung endet.) —

Das auf der Zeichnung sichtbare eiserne Stativ wird unbeweglich an die Wand befestigt; die an seinen beiden obersten Armen angebrachten Rollen sind mit Schnüren versehen, welche auf die aus der Zeichnung leicht verständliche Weise zur Hebung und Senkung der in eiserne Rahmen eingehängten Quecksilberbehälter A, A' dienen.

Sind die beiden Behälter B, B' mit Quecksilber gefüllt und die Hähne a und c geöffnet, so wird dieses Quecksilber durch Senkung der Kugeln in A, A' übergeführt, in B, B' entsteht also ein Vacuum. Werden die Kugeln A, A' in die Höhe gehoben, so füllen sie die leeren Räume wieder mit Quecksilber. Diese von Helmholtz ersonnene Einrichtung zur Herstellung des Vacuums bildet nebst der Einführung der geschliffenen Hähne den Hauptvorzug der neuen Gaspumpen und wird jetzt bei allen zur Blutanalyse verwendeten Pumpen angewendet. Die Handhabung der Pumpe ist dadurch besonders erleichtert worden, sowie überhaupt alle zu ihrer Instandsetzung nothwendigen Manipulationen einen viel sicherern und präciseren Gang erhalten haben.

Da Ludwig auch jetzt noch den Blutrecipienten abzusperren pflegt, ehe zur Erhöhung des Druckes geschritten wird, um die gewonnenen Gase in das Eudiometer überzuführen, so verwendet er sowohl zwei Quecksilberbehälter A, A', als zwei Cylinder B, B' für Erzeugung des Vacuums. B wird mit dem Recipienten, B' mit dem Eudiometer verbunden; schliesst man nach Gewinnung der Gase den Hahn c ab, so kann man durch Hebung der Flasche A' bei geöffnetem b' und c' die Gase aus B' in den Eudiometer bringen.

Der allgemeine Gang der Gasgewinnung mit Hilfe der Ludwig'schen Pumpe ist nun folgender.

Zum Sammeln der für die Entgasung bestimmten Blutmenge benutzte Ludwig den auf derselben Tafel (Fig. 3) dargestellten Apparat. Er besteht aus mehreren verschieden weiten und langen Cylindern[1]), welche oben und unten in Verengerungen auslaufen. Mittelst Gummiröhren werden sowohl die oberen Hälse als die unteren (b, b') mit gabeligen Röhren c, c' verbunden; in die untere gabelige Röhre c' mündet eine Glasröhre, welche die Cylinder an Länge überragt und oben mit einem Glastrichter verbunden ist. Sowohl die beiden Cylinder als diese Glasröhre werden in verticaler Richtung mittelst der Arme eines Stativs auf die aus der Zeichnung verständliche Weise fixirt.

Diese Cylinder werden von der Glasröhre aus vorsichtig und bei Vermeidung von Luftblasen mit Quecksilber so lange gefüllt, bis es aus der offenen Mündung der obern gabeligen Röhre c auszufliessen beginnt; dann schliesst man mit Klemmen die Stiele der beiden Gabeln ab und entfernt die Glasröhre d sammt Trichter, nachdem man das untere Ende der Glascylinder in eine Schale mit Quecksilber getaucht hat. Jetzt kann zur Blosslegung des Blutgefässes am Thiere und zur

1) Auf der Zeichnung sind nur zwei Cylinder dargestellt; will man mehrere Blutproben zur Untersuchung besitzen, so verbindet man mehrere Cylinder ganz auf dieselbe Weise.

Einführung der Glascanülen geschritten werden; ist dies geschehen, so befestigt man an diese Canüle eine passend gebogene lange Röhre und öffnet das Blutgefäss. Ist diese mit ihrem offenen Ende nach oben gehaltene Röhre ganz mit Blut gefüllt, so verbindet man dieses Ende fest mit dem Kautschukrohr, das an dem Stiel der Gabel *c* angebracht ist (siehe Zeichnung), nachdem durch Einlassung einiger Blutstropfen jede Spur von Luftblasen aus ihr entfernt wurde. Während der Befestigung des Kautschuks an diese Röhre wird das Blutgefäss mit den Fingern comprimirt; ist diese Verbindung gesichert, so lässt man den Finger los und schraubt zuerst die obere Klemme bei *c* auf (wobei man das Eindringen des Quecksilbers in das Blutgefäss verhüten muss), und öffnet gleich darauf auch die untere Klemme unter dem Quecksilber.

Das Blut strömt dann in die Glascylinder ganz gleichmässig ein; sowie man die gewünschte Menge gesammelt hat, wird zuerst die untere und dann die obere Klemme geschlossen. Schraubt man dann die Klemme oben und unten zu und entfernt die Gabelröhren, so sind die Cylinder von einander getrennt.

Will man das Blut sofort defibriniren, so schüttelt man den Cylinder, wobei sich das Blut mit dem Quecksilber mengt, so lange bis alles Fibrin ausgeschieden ist; will man auch die Gase des Serums untersuchen, so wird der eine Cylinder in Eiswasser gestellt u. s. w.

Das Ueberführen des Blutes in den Recipienten muss selbstverständlich unter Quecksilber geschehen, wobei man durch von unten her einfliessendes Quecksilber das Blut aus der obern Oeffnung in den Blutrecipienten herüberführt. Auch bei dieser Operation muss jedes Eindringen von Luft auf das Sorgfältigste vermieden werden.

Die auf dem rechtwinkelig gebogenen Hals des Blutrecipienten angebrachte Kautschukröhre wird mit der Meyer'schen Klemme unter dem Quecksilberspiegel zugeschraubt und auf den Fortsatz des Glasellipsoids *B* mit Schnüren befestigt. Nun beginnt die Herstellung des Vacuums, was durch einige Hebungen und Senkungen des Quecksilbergefässes *A'* bald geschehen ist. Es muss dabei dafür gesorgt werden, dass in dem Theile des Fortsatzes zwischen der Klemme und dem Gefässe *B* keine Luft stecken bleibt.

Unter den Blutrecipienten wird ein mit warmem Wasser gefülltes Gefäss untergeführt, das durch einen Halter fixirt werden kann.

Sobald das Vacuum in *B* hergestellt ist, wird die Klemme gelöst (*b* ist geschlossen); das Blut fängt sofort an zu kochen und seine Gase dringen mit Schaum in die Kugel *B* ein.

Hält man das Quecksilberniveau in dieser Kugel bis zum untern Rande des Fortsatzes, so fliesst das etwa mitgerissene Blut von selbst in den Recipienten zurück, besonders wenn man das Erwärmen auf einen Augenblick sistirt.

Wie schon oben gesagt, werden bei dem Ludwig'schen Verfahren die Gase von dem Blute getrennt, ehe sie in das Eudiometer gebracht werden; ist alles Blut in den Recipienten zurückgekehrt, so könnte diese Trennung einfach durch Zuklemmen des Kautschukrohres beim Fortsatze geschehen; da dies aber nie ganz der Fall ist, so öffnet man den Hahn *b* und jagt die Gase durch vorsichtiges Heben der Kugel *A'* aus *B* in *B'*, in welchem natürlich früher durch Senken von *A* auch ein Vacuum hergestellt ist. Das Eudiometer, welches mit dem Hahn *d* durch

eine gebogene, auch mit einer Hahnvorrichtung versehene Glasröhre mit Quecksilber communicirt, wird dann durch Oeffnung dieses Hahns mit Gasen gefüllt und kann dann nach Schluss der Röhre entfernt und durch ein neues ersetzt werden.

Die Entgasung muss mehrmals vorgenommen werden, bis sich gar keine Gase mehr aus dem Blute entfernen. Das Blut nimmt dann eine ganz schwarze Farbe an.

Das Sammeln der Gase aus dem Gasrecipienten *B'* muss so lange fortgesetzt werden, bis überhaupt noch Luftblasen an der Oberfläche des Quecksilbers erhalten werden können.

Bei gehöriger Uebung geschehen alle diese Manipulationen so schnell, dass man mit dieser Pumpe in einer Stunde 30 — 40 C.-C. Blut ganz gasfrei machen kann.

Eine noch viel grössere Geschwindigkeit im Auspumpen der Blutgase erreicht man mit der Pflüger'schen Gaspumpe, welche nach seiner Behauptung es gestattet, ca. 50 C.-C. Blut in 1 Minute vollständig zu entgasen. Diese schnelle Entgasung erreicht Pflüger hauptsächlich durch folgende drei Umstände: 1) er erzeugt ein Vacuum von 8000 C.-C., wovon 2700 C.-C. auf die drei übereinander gestellten Kugeln kommen, die als Blutrecipienten dienen; 2) er sucht die entweichende Kohlensäure sowie den Wasserdampf so schnell als möglich zu binden, zu welchem Zweck er zwischen den Blutrecipienten und der Pumpe besondere Trockenräume einschaltet, in welchen der Wasserdampf durch Schwefelsäure und die Kohlensäure durch Aetzkali absorbirt werden; der Wasserdampf und CO_2 sollen ein Hinderniss für das fernere Entweichen der Blutgase abgeben; 3) fördert er das Entweichen der Blutgase durch augenblickliche Erhöhung der Bluttemperatur auf ungefähr + 65° C, indem er das Blut in die Recipienten treten lässt, welche mit entgastem destillirten Wasser von dieser Temperatur gefüllt waren.

Die Einrichtung der Pflüger'schen Pumpe besteht, wie schon aus seiner Verfahrungsweise hervorgeht, aus drei Theilen: den Blutrecipienten, dem Trockenraume und der Saug- und Druckpumpe. Die Blutrecipienten bestehen aus grossen Glaskugeln, deren man mehrere über einander stellen kann, indem man sie durch Glasröhren mit einander verbindet. Die unterste Kugel läuft in einen kurzen Hals aus, der durch einen luftdicht schliessenden Glasstöpsel verschlossen werden kann. Der Hals der oberen Kugel ist durch einen eingeschliffenen hohlen Stöpsel verschliessbar, der sich sowohl nach aussen als nach innen in eine enge Glasröhre fortsetzt. Das innere Rohr läuft bis zu dem Boden der untern Kugel, das äussere ist mit einem kleinen Glashahn versehen und dient zur Einsaugung des Blutes entweder aus dem Blutgefässe selbst oder aus einem andern Behälter.

Pflüger lässt das Blut direct aus der Blutader in die Recipienten eintreten; zu diesem Zwecke führt er in das Blutgefäss eine kleine eiserne Canüle, die in ein feines Glasrohr mündet; zwischen beiden ist wieder ein kleiner Glashahn eingeschaltet. Diese Röhre wird nun mit dem Röhrchen, das aus dem Stöpsel des obern Recipienten hervorragt, durch ein kurzes Gummirohr verbunden. Um den schädlichen Raum zu beseitigen, der durch diese Verbindungsstücke entsteht, da das Blut die in ihnen enthaltene Luft mitbringen muss, ist es nach Pokrovsky's Vorschlag vortheilhaft, dem Hahne, welcher die Röhre des Glasrecipienten schliesst, eine Bohrung zu geben, wie wir sie an den Manometerhähnen besitzen (s. Fig. 2 Taf. XIII).

Man stellt diesen Hahn zuerst so, dass der Recipient abgeschlossen ist und die Gefässcanüle sowohl wie die übrigen Verbindungsstücke nur mit der äussern Luft communiciren; ist aus dem Blutgefässe in die Verbindungsröhren so viel Blut geflossen, dass alle Luft aus ihnen verdrängt ist, so dreht man den Hahn in der Weise, dass die Blutader mit dem Recipienten communicirt.

Diese Bohrung ist besonders vortheilhaft, weil sie auch benutzt werden kann, um mit Leichtigkeit Säure in den Blutrecipienten hinein zu bringen.

Da in den Recipienten vorher ein vollständiges Vacuum erzeugt wurde, so strömt natürlich das Blut mit grosser Gewalt unter starker Schaumbildung in die Recipienten. Pflüger betrachtete sogar dies starke Schäumen insofern für vortheilhaft, dass das Blut durch Peitschen sich gleichsam selbst defibrinirt. Sobald nun die gewünschte Blutmenge in dem Recipienten aufgefangen wurde, schliesst man seinen obern Hahn ab, und die aus ihm sofort entweichenden Gase treten nun in den zweiten Theil der Pflüger'schen Einrichtung, in den Trockenraum c (Fig. 4 Taf. XXXI).

Diese Räume communiciren nun durch einen guten Schliff mit einer etwa 1 Cm. weiten Zweigröhre, welche von dem obern Recipienten seitlich abgeht. Die Trockenräume (*c*) bestehen aus zwei U-förmig gebogenen Röhren, welche durch Schliffe in luftdichter Verbindung untereinander stehen.

Die untere Biegung dieses Rohres trägt eine kugelige Erweiterung von etwa 100 C.-C. Inhalt, welche zur Hälfte mit reiner concentrirter Schwefelsäure gefüllt ist; da die oberen Theile dieser Röhre mit Bimsteinstückchen gefüllt sind, welche von derselben Flüssigkeit durchtränkt sind, und diese Stücke leicht in das kugelige Reservoir hineinfallen könnten, so ist, um dies zu verhüten, an dem Halse dieses letztern eine Verengerung angebracht. In dieses Reservoir fliesst nun das absorbirte, mit Schwefelsäure vermengte Wasser ab. Die Länge dieser Absorptionsröhre ist 160 Cm. ohne das Reservoir; zur leichtern Füllung oder Entleerung ist sie mit Schliffen versehen, welche durch Stöpsel luftdicht abgeschlossen werden.

Durch ähnliche Schliffe sind die Absorptionsröhren mit durch Hähne abschliessbaren Communicationsröhren verbunden, die einerseits zur Pumpe, andererseits zu den Blutrecipienten führen. Ein Barometer (*m*) steht in offener Communication mit der ersten Röhre, um die Trockenheit der aus dem Trockenraum tretenden Gase anzuzeigen. Der Eintritt der Gase in diese Trockenräume geschieht mit sehr grosser Geschwindigkeit; dasselbe gilt von der Absorption des Wasserdampfes.

Der dritte Theil, die eigentliche Pumpe, ist nach dem Principe der Helmholtz'schen Pumpe von Geissler angefertigt worden.[1])

Sie ist also der jetzigen Ludwig'schen analog construirt; nur besteht sie aus einem einzigen und nicht, wie die Ludwig'sche, aus zwei Pumpwerken.

Die ellipsoiden Kugeln sind viel grösser als bei der Ludwig'schen; *a* ist die unbeweglich befestigte, *b* die bewegliche Kugel. Verbunden sind sie mit einan-

---

1) Geissler soll schon vor Jahren eine ähnliche Pumpe zur Evacuation der elektrischen Röhren angewandt haben. Das Princip dieser Quecksilberpumpen ist aber noch älter (siehe Poggendorff's Annalen Bd. CXXV).

der durch eine Spirale von starkem Eisendrath, der mit einer dicken, mit Leinwand überzogenen Gummiröhre bekleidet ist; der Eisendrath verhindert das Zusammendrücken der Röhre.

Die obere Kugel läuft in eine kräftige Glasröhre aus, die mit einem Hahne *g* verschliessbar ist und mit einem Schliffe endet. Auf diesen Schliff passt ein anderer von einem Rohre *h*, welches sich capillar verengert und zwei Krümmungen besitzt, die eine nach unten, die andere hakenförmig nach aufwärts gerichtet; mit diesem verticalen Schenkel wird sie während des Versuches unter ein mit Quecksilber gefülltes graduirtes Messrohr gebracht, in welches die gewonnenen Gase durch Druck übergeführt werden.

Vergleichen wir sie mit der Ludwig'schen Pumpe, so finden wir zwischen beiden vorerst einen principiellen Unterschied; dieser besteht darin, dass Pflüger die Gase vorher durch die Trockenräume durchleitet und sie vom Wasserdampfe befreit. In dieser Modification des Ludwig'schen Verfahrens sieht Pflüger den Schwerpunkt seiner Methode. Der durch die Anwendung der Trockenräume entstehende Vortheil scheint aber von keinem wesentlichen Einfluss auf die Menge der aus dem Blute zu gewinnenden Gase. Wenigstens haben die mit der Pflüger'schen Pumpe gewonnenen Bestimmungen der Blutgase keine grösseren Mengen ergeben, als die, welche A. Schmidt mittelst der neuen Ludwig'schen Pumpe erhalten hat.[1])

So erhielt bekanntlich Schmidt als Mittelwerth für den Procentgehalt des Sauerstoffs im Blute 16,4 %; während Pflüger als höchsten Mittelwerth 16,9 %, als niedrigsten 15,3 % bekam; Unterschiede, die wohl die Grenzen der individuellen Abweichungen nicht überschreiten.

Andererseits zeigt aber auch diese Uebereinstimmung der erhaltenen Werthe, dass man durch Hinzufügung einiger Hahnvorrichtungen bei etwas grösserem Inhalt der Blutrecipienten eine Pumpe in der Ludwig'schen Anordnung entbehren könnte.

Die Herstellung des Vacuums ist dagegen in der Ludwig'schen Pumpe viel leichter und auch etwas vollkommener als in der Geissler'schen; in dieser letztern nimmt bei der Anwendung grosser Blutrecipienten die Herstellung eines leeren Raumes durch Senkung und Hebung des Quecksilbers ziemlich lange Zeit in Anspruch, auch ist das Vacuum nie so vollkommen, wie in der Ludwig'schen, wo die Toricelli'sche Leere auch in der Schaumkugel selbst durch Abfliessen des Quecksilbers hergestellt wird.

Dagegen ist die Einbringung des Blutes direct in den Blutrecipienten (Pflüger'sche Methode) nicht nur sehr zeitersparend (was bei der sowohl von Schmidt als von Pflüger constatirten Sauerstoffverzehrung in dem aus den Blutgefässen entfernten Blute[2]) nicht ohne Bedeutung ist), sondern auch viel be-

1) Die Vermuthung Pflüger's (Centralblatt 1867 Nr. 46), er habe viel höhere Werthe als A. Schmidt erhalten, beruhte bekanntlich auf einem Missverständnisse der vorläufigen Mittheilung Schmidt's.

2 Schon im Jahre 1856 hat übrigens Cl. Bernard die CO_2-bildung auf Kosten des Sauerstoffs ausserhalb des Körpers im aufgefangenen Blute beschrieben (Leçons sur les substances toxiques p. 181). Im Jahre 1858 (Leçons sur les liquides p. 355) beschrieb Bernard diese Umwandlung schon viel ausführlicher.

quemer, als das complicirtere Verfahren Ludwig's. Dass den Geissler'schen Hahnvorrichtungen keine andern an meisterhaft vorzüglicher Ausführung gleichkommen können, braucht wohl kaum hervorgehoben zu werden. [1])

Diesen beiden Pumpen an Genauigkeit bedeutend nachstehend, aber für einfachere Zwecke noch sehr brauchbar, sind die von Alvergniat in Paris verfertigten Pumpen [2]), wie deren eine auf Taf. XXXI Fig. 3 dargestellt ist.

Eine lange Barometerröhre, welche mit einer cylindrischen Erweiterung *a* endet, ist an ein Brett befestigt. Diese Erweiterung trägt oben einen Hahn *d*, der in einen Trichter ausläuft. Dieser Hahn ist, wie die beigefügten Figuren 1, 2, 3 zeigen, dreifach durchbohrt; durch die seitliche Bohrung kann die cylindrische Erweiterung mit der Kugel *g* vermittelst der Kautschukröhre *f* in Verbindung gesetzt werden. Die Herstellung der Leere in dem Ansatz *e g* geschieht dadurch, dass man bei einer Stellung des Hahnes (1), bei welcher *e g* abgeschlossen ist und *a c* frei mit dem Trichter communicirt, durch Heben von *v* alle Luft aus *a c* vertreibt; schliesst man dann durch eine geeignete Hahndrehung (2) das Barometerrohr ganz ab, so erzeugt man in ihm ein Vacuum.

Dreht man den Hahn nun wieder in der Weise, dass *e g* mit *a c* communicirt, so dringt die Luft aus *e g* in diesen leeren Raum ein. Wiederholt man nun diese Operation mehrmals, so kann man bald ein fast absolutes Vacuum in *e g* erzeugen. Wenn *e g* den gleichen Inhalt wie der leere Raum in *a c* hat, so wird nach dem Mariotte'schen Gesetze bei *n* Bewegungen der Pumpe der Druck im Recipienten *e g* gleich sein $760^{mm}\ (1/2)^n$; wenn also $n=20$, wird der Druck gleich sein $\frac{760}{1048657} = 0^{mm}$, 00072, (also fast eine absolute Leere). Um das mühsame Heben und Senken von *v* zu ersparen, füllt Gréhant den Recipienten *e g* mit destillirtem Wasser und giebt ihm eine nach oben geneigte Stellung, wenn das Wasser in den leeren Raum eindringen soll. Einige Bewegungen von *v* genügen, um das ganze Wasser in *a c* und von dort durch den Trichter nach aussen zu treiben und so *e g* luftleer zu erhalten.

Die Einführung des Blutes geschieht nun in der Weise, dass man in eine Bernard'sche graduirte Spritze mit T-förmigen Hähnen (wie die in Fig. 1 und 2 Taf. XXX) Blut aus der Arterie aufsaugt (durch einen leicht verständlichen Handgriff an dem Hahn geschieht dies, ohne Luft mitzureissen) und dann die Spitze der mit Hahn versehenen Canüle in den mit Quecksilber gefüllten Trichter der Pumpe einführt, um sie dann durch eine Kautschukröhre mit dem obern Ende des Hahns *d* zu verbinden.

Oeffnet man nun den Hahn der Spritze und dreht den Hahn *d* in der Weise, dass die Spritze mit dem Recipienten *e g* communicirt, so dringt das Blut in

---

1) Auch den von Greiner und Friedrichs in Stutzerbach (Thüringen) verfertigten Ludwig'schen Pumpen muss die Anerkennung ausgezeichneter Ausführung aller Glasstücke, die Hähne nicht ausgeschlossen, gezollt werden; ein bei dem relativ geringen Preise ihrer Pumpen gewiss nicht zu unterschätzender Umstand.

2) Die letzteren von Alvergniat verfertigten Pumpen sind mit einer der Ludwig'schen analogen Hebelvorrichtung versehen.

diesen luftleeren Recipienten ein und füllt ihn aus. Schliesst man nun den Hahn *d* ab, und ersetzt die Spritze durch ein Eudiometer, so hat man die Möglichkeit, in demselben nach Wiederöffnung dieses Hahns und Erwärmung des Blutrecipienten die Blutgase zu sammeln. Dies in kurzen Worten das Gréhant'sche Verfahren zur Gewinnung der Blutgase; alles Gas erhält man dabei nicht, wie er selbst sehr gut einsieht. Wo es aber nicht auf besondere Genauigkeit ankommt, ist dies Verfahren noch mit Nutzen verwendbar. Da die Alvergniat'schen Hähne bei dem Schmelzen des sie einwickelnden Fettes durch die warmen Wasserdämpfe nicht absolut luftdicht schliessen, so umgiebt sie Gréhant während des Versuchs mit besondern Wasserbeuteln; noch sicherer wäre es, diese Beutel mit Quecksilber zu füllen.

Bei allen Gasgewinnungen ist es nothwendig, das Volum des entgasten Blutes genau zu kennen. Ludwig erhält dieses Volum einfach dadurch, dass er genau graduirte Blutrecipienten verwendet. Beim Pflüger'schen Verfahren ist die Bestimmung der Blutmenge etwas complicirter: sie besteht in der Wägung der Blutrecipienten und der Schwefelsäureröhren vor und nach der Entgasung und einer Bestimmung des specifischen Gewichts des verwendeten Blutes. Zu diesem letztern Zwecke mussten aus demselben Gefäss gleichzeitig durch eine verzweigte Röhre zwei Blutproben aufgefangen werden, die eine für die Entgasung, die andere für die Bestimmung des specifischen Gewichts mittelst des Pikrometers.

Durch Verkleinerung der Trockenräume hat Pflüger das Wägen derselben sammt Blutrecipienten etwas erleichtert.

Später bediente sich auch Pflüger besonderer graduirter Maasscylinder, welche in ein mit Hahnvorrichtung versehenes Capillarrohr ausliefen, das mit dem Recipienten seiner Pumpe in luftdichte Verbindung gebracht werden konnte.

Eine sehr einfache Gaspumpe hat unlängst Helmholtz construirt; sie ist von H. Busch beschrieben und abgebildet worden. Das Princip blieb dasselbe, wie in den frühern Helmholtz'schen Pumpen, nur sind die so schwierig darzustellenden Hähne durch eine sehr einfache, aber zweckmässige Einrichtung ersetzt worden. Sämmtliche Gefässe werden nämlich durch gewöhnliche Kautschukpfropfe an ihren obern Mündungen verschlossen; die diese Pfropfen durchsetzenden Glasröhren dienen zur Verbindung der einzelnen Gefässe (Blutrecipienten, Trockenräume, Pumpe und Eudiometer) und sind mit gewöhnlichen Hähnen versehen. Um aber diese Pfropfe, Hähne etc. luftdicht zu machen, sind an den obern Theilen der Glastheile besondere Hohl- oder Glasgefässe angekittet, welche mit Quecksilber so weit gefüllt werden, dass alle die ebenerwähnten Theile unter den Quecksilberspiegel zu liegen kommen. Diese ganz zuverlässige Absperrungsweise gestattet es, mit Hilfe gewöhnlicher Glascylinder und Kautschukpfropfen Pumpen herzustellen, die für viele Zwecke ganz brauchbar werden können. (Derselbe Gedanke, der den Gréhant'schen Beuteln zu Grunde gelegen hat.)

Jedenfalls müsste eine solche Pumpe einer genauen Prüfung unterworfen werden, da sie vielleicht von den zerbrechlichen Glashähnen befreien könnte, die in ganz vollkommmener Weise nur sehr Wenige auszuführen im Stande ist.

Aus demselben Grunde wäre auch der Ersatz dieser Glashähne durch Hähne von Gussstahl zu erproben, die schon längst von Jolly an den Quecksilberpumpen mit Erfolg angewendet werden.

Auch die von Poggendorff eingeführte Modification der Geissler'schen Pumpe, bei welcher man durch Verbindung des Quecksilbergefässes mit einer gewöhnlichen Luftpumpe das Heben und Senken des Quecksilbers vermeidet, könnte im Nothfalle zur Gewinnung der Blutgase benutzt werden, wenn man gerade nicht im Besitze einer speciellen Blutgaspumpe ist.

Man kann aber auch ohne Hilfe einer Gaspumpe mit ziemlicher Genauigkeit den Sauerstoffgehalt des Blutes bestimmen und zwar, Dank der sinnreichen Methode von Cl. Bernard, mittelst Kohlenoxyd.

Während bei dem frühern Verfahren die Gase des Blutes durch Verminderung des äusseren Druckes und Erhöhung der Temperatur aus der Flüssigkeit herausgetrieben wurden, basirt das Verfahren von Cl. Bernard auf der Verdrängung dieser Gase durch Durchleiten eines fremden Gases durch das Blut.

Den Anstoss zu dieser Gasgewinnungsmethode hat Cl. Bernard erhalten, einerseits durch die von ihm entdeckte Eigenschaft des CO, den Sauerstoff aus den Blutkörperchen zu drängen und zu substituiren, andererseits durch die richtige Würdigung der Schwierigkeit [1]), welcher die Bestimmung der Blutgase in der schnellen Verzehrung des Sauerstoffs ausserhalb des Körpers begegnet. Das CO sollte daher nicht nur allen Sauerstoff aus dem Blute verdrängen, sondern auch vor dieser Verdrängung fernere Oxydationsprocesse im Blute verhindern. Man gewann dadurch die Möglichkeit, das zur Analyse bestimmte Blut während 24 Stunden ohne Schaden aufbewahren zu können.

Das zu benutzende Verfahren ist höchst einfach. Man führt unter Quecksilber ein bestimmtes Volum aboluten reinen CO in eine Messröhre ein, fängt unter Luftabschluss auf die bekannte Weise ein beliebiges Blutquantum auf und führt es unter Quecksilberverschluss in denselben Messcylinder ein [2]). (Das Volum des CO muss das des Blutes etwas übertreffen.) Man verschliesst dann diese Röhre und schüttelt sie einige Mal, damit das Blut sich in allen seinen Theilen mit dem CO mengt. Erwärmt man dann den Cylinder während ein paar Stunden bis zu 30^0—35^0 C, so kann man sicher sein, durch CO allen O verdrängt zu haben, den es überhaupt verdrängen kann.

Man kann, wie schon erwähnt, die Mischung erst nach 24 Stunden der Analyse unterwerfen.

Cl. Bernard benutzt zum Blutsammeln aus dem Gefässe die auf Taf. XXX Fig. 1 und 2 abgebildete Spritze aus Gusseisen. Die Anwendungsweise dieser Spritze und ihrer Ansatzstücke ist aus der Zeichnung klar.

---

1) Diese Schwierigkeiten waren es ja eben, welche später sowohl Ludwig als Pflüger bewogen haben, durch Vervollkommnung der Gaspumpe den Entgasungsprocess zu beschleunigen.

2) Ganz reines CO erhält man, wenn man in einer Retorte mit einer unter Wasser abgeleiteten Abzugsröhre Cyankalium mit einem starken Ueberschusse von concentrirter Schwefelsäure erwärmt. Das sich bildende CO wird unter Wasser aufgefangen und unter Quecksilber in Messcylinder gebracht, nachdem man vorher durch etwas Aetzkali die etwa mitgerissene Säure absorbirt hat. Vortheilhaft ist die zu benutzende mit Röhren versehene Retorte durch einen Strom CO_2 vorher von aller Luft zu befreien. Reines CO muss von in Ammoniak gelöstem Cu Cl vollständig absorbirt werden können.

Hat man oberhalb des Stempels etwas Wasser hineingebracht, so eignet sich diese Spritze, Dank der zweckmässigen Bohrung ihres Hahnes (*r*), sehr gut zum schnellen luftfreien Aufsaugen von Blut.

Das von Cl. Bernard ersonnene Verfahren eignet sich, wie die unter L. Meyer's Leitung von Navrocki vorgenommene vergleichende Prüfung gezeigt hat, sehr gut für die Austreibung der Blutgase, besonders wenn es sich um vergleichende Gasanalysen handelt. Was ihren Genauigkeitsgrad für die Bestimmung des Sauerstoffs anbetrifft, so kann sie der ältern Ludwig'schen Pumpe ziemlich nahe gestellt werden. (Das Verfahren Cl. Bernard's zur Bestimmung der CO_2-Menge siehe im nächsten Paragraphen.)

Wenn die von Estor und St. Pierre mittelst dieser Methode gewonnenen Resultate sich als unbrauchbar erwiesen haben, so liegt dies, wie schon P. Bert und nach ihm Pflüger erwiesen haben, nicht an den Mängeln dieser Methode, sondern an der geringen Zahl der unter den verschiedensten Umständen gesammelten Beobachtungen. Auch wurden die wenigen von Estor und St. Pierre selbst angestellten Messungen nicht mit der Genauigkeit ausgeführt, welche der Kühnheit der gezogenen Schlüsse entsprochen hätte. [1])

Wenn man also keine Gaspumpe bei der Hand hat oder wenn man viele vergleichende Entgasungen gleichzeitig ausführen muss, so ist das Bernard'sche Verfahren für die Austreibung des Sauerstoffs sehr zu empfehlen.

Hier wird es am Platze sein, die Pumpe zu beschreiben, welche auf Taf. XXXI in der Fig. 5 und 6 abgebildet ist und welche die ausgebreitetste Anwendung in jedem physiologischen und chemischen Laboratorium finden kann.

Diese Pulsirpumpe, von einem Studenten der Petrowsky'schen landwirthschaftlichen Akademie zu Moskau, Jagno, erfunden, hat dem Ansehen nach einige Aehnlichkeit mit den Sprengel'schen oder Bunsen'schen Pumpen. Sie besitzt aber vor diesen letzteren den grossen Vorzug, dass man mit ihr einen viel grösseren Verdünnungsgrad der Luft erzielen kann, als den gewöhnlichen, vom hydraulischen Drucke der fallenden Flüssigkeit abhängigen.

In den Sprengel-Bunsen'schen Pumpen ist das Maximum der zu erreichenden Verdünnung, wenn man diese durch die Höhe der Flüssigkeitssäule ausdrücken will, welche sie zu heben vermag, immer geringer, als die Fallhöhe der Flüssigkeit in der Röhre; setzt man diese letztere z. B. gleich *h*, so ist der Verdünnungsgrad immer kleiner als *h*.

Ganz anders in der Jagno'schen Pulsirpumpe: bei einer Fallhöhe des Wassers von etwa $1\frac{1}{2}$ Meter lässt sich mit ihr eine Verdünnung von 720 Mm. Quecksilber herstellen, was etwas mehr, als eine Wassersäule von 9 Meter Höhe repräsentirt.

Zuerst soll die Einrichtung der Pumpe hier beschrieben werden, und zwar in einer Weise, dass man, von dieser Beschreibung geleitet, im Stande sein soll, selbst eine solche Pumpe herzustellen. Die Erläuterung ihrer Wirkungsweise wird am Schlusse folgen.

Die Glasröhre *e b* bildet den wesentlichsten Theil dieser Pumpe: sie besitzt etwa 900 Mm. Länge und 6 bis 8 Mm. inneren Durchmesser. In der Entfernung

---

1) In letzter Zeit haben Estor und St. Pierre eine Gaspumpe construirt, die der Geissler'schen ziemlich ähnlich ist.

von 50—60 Mm. von ihrem oberen Ende geht von ihr rechtwinklig die Glasröhe *a e* ab, deren freies Ende *a* durch einen durchbohrten Kork verschlossen ist. Durch diese Bohrung ist die knieförmig gebogene Röhre *q f g* hineingeschoben.

Der in der Röhre *a e* steckende Theil (*f q*) dieser letzteren besitzt im Spiel dieser Pumpe eine hervorragende Rolle; seine genaue Einrichtung ist daher in der Fig. 5 derselben Tafel in vergrössertem Maassstabe wiedergegeben. Das an *e* grenzende Ende dieser Röhre ist zugeschmolzen und in *y* besitzt es eine kleine Oeffnung. Ueber diesen zugeschmolzenen Theil der Röhre wird ein unvulkanisirter Kautschukschlauch herübergezogen, der in *l* zugeschnürt, in *h* an die Glasröhre festgebunden wird. Dieser Schlauch muss weich und nachgiebig sein, genau auf die Röhre passen, dabei weder beim Aufziehen gedehnt werden noch darf ein freier Raum zwischen ihm und der Glasröhre bestehen bleiben. In der Längsrichtung dieses Kauschukschlauches wird ein gerader Schnitt von der Länge *m n* gemacht, der keine gezackten Ränder zurücklassen darf. Die Lage dieses Schlitzes zu der Oeffnung *y* der Glasröhre muss so gewählt werden, dass sie annähernd diametral gegeneinander zu stehen kommen.

Wie man sieht, bildet das Ganze eine Ventilvorrichtung, welche der Luft aus *f* durch die Oeffnung *y* und den Spalt *m n* in die Röhre *e b*, nicht aber umgekehrt zu gehen gestattet. Dieses Ventil muss nun so angepasst werden, dass sein Verschluss zwar vollkommen, aber doch nur mit einem Minimum von Widerstand arbeite.

(Es wäre vielleicht vortheilhafter, hier eine Ventilvorrichtung anzuwenden von der Art, wie sie Czermak in der Athmungscanüle (§ XIII Cap. I), Luciani in der Mariotte'schen Flasche des Herzapparates (Taf. XX Fig. 3), oder ich in dem Weber'schen Schema gebrauche (Taf. XI Fig. 5).

Die Kautschukröhre *z k* dient, um den Wasserzufluss zu der Röhre *e b* zu vermitteln. Nach unten steht sie mit dem Hahne der Wasserleitung in Verbindung, oben ist sie auf der Glasröhre angezogen und festgebunden. Sie ist von etwa 8 Mm. innerem Durchmesser und 1,5 Mm. Wandfläche. Der Kautschukschlauch wird gleich an dem Ende der Glasröhre nach unten auf die aus der Zeichnung verständliche Weise gebogen, so dass die obere Wand des Schlauches auf die Mündung der Glasröhre selbst anliegt und gleichsam einen Deckel über derselben bildet. —

Wird nun der Hahn der Wasserleitung geöffnet, so fliesst das Wasser aus derselben nicht etwa in ununterbrochenem Strome, sondern es entsteht eine rhythmische Bewegung dieses Deckels, ein Heben und Senken desselben, was ein rhythmisch unterbrochenes Einströmen des Wassers in die Röhre *e b* erzeugt; die Bewegung des Kautschukdeckels wird pulsirend — und in diesem rhythmischen Spiel des auf die angegebene Weise gebogenen Kautschukschlauches liegt das Hauptmoment der ausserordentlichen Wirksamkeit dieser Pumpe.

Das in *e b* herunterfallende Wasser reisst aus der Röhre *g f q* die Luft mit sich und erzeugt so in den mit ihr etwa verbundenen Behältern eine Luftverdünnung. Auf der Zeichnung geht diese Röhre *g f q* zuerst in eine Sicherheitskugel über, die das etwa mitgerissene Wasser in sich aufnimmt, dann einerseits in eine gewöhnliche Filtrirflasche, anderseits in einen mit Theilungen versehenen Hebermanometer über, der zur Anzeige des erzielten Verdünnungsgrades dient.

Damit der Apparat in Gang kommt, ist eine gewisse Geschwindigkeit des zu-

fliessenden Wasserstromes nothwendig. Während des Spiels des Apparates bewegt sich die in der Röhre *e b* abfliessende von Luftblasen unterbrochene Wassersäule (diese Säule besteht eigentlich aus regelmässig aufeinanderfolgenden Luft- und Wassercylindern) nach unten in stossweissen Bewegungen, wobei auf jeden Stoss nach unten ein schwächerer nach oben folgt, immer entsprechend den Pulsationen des Kautschukdeckels. Diese Pulsationen setzen sich auch auf den Kautschukschlauch selbst fort, an dem man dann ganz dem Arterienpulse ähnliche Bewegungen beobachtet.

Die Wirkungsweise des Apparates lässt schwierig eine erschöpfende Erklärung zu. Wir wollen hier den Erklärungsversuch anführen, den M. Kirpitschoff und G. Schmidt bei der Beschreibung des Apparates gegeben haben.

Wenn der Strom, der aus dem Kautschukschlauch *k* in die Röhre *e b* fliesst, plötzlich durch das Anliegen des Deckels *z* an die Mündung dieser Röhre unterbrochen wird, so hört die Bewegung der Flüssigkeitssäule in *e b* nicht momentan auf, sondern dauert wegen der erlangten Geschwindigkeit noch einen Augenblick. In Folge dessen entsteht zwischen dem Deckel *z* und dem oberen Spiegel dieser Säule ein leerer Raum. Dadurch wird zwar der Deckel *z* noch fester hineingedrückt, gleichzeitig wird aber durch das Bestreben des Kautschukdeckels, der die Röhre *g f q* umschliesst, diesen Raum auszufüllen, aus der Oeffnung *y* (Fig. 5) Luft in diesen Raum dringen. Gleichzeitig wird aber auch die abgerissene Wassersäule in ihrer Bewegung angehalten und von dem atmosphärischen Druck zurückgedrängt; der durch dieses Zurückdrängen wird aber der Deckel *z* etwas in die Höhe gehoben; aus der Wasserleitung nachkommende Wasserstrom öffnet ihn ganz und dringt von Neuem in die Röhre *e b*.

Diese ziemlich plausible Erklärung der Wirkungsweise der Pulsirpumpe muss noch voraussetzen, dass dieser Wasserstrom bei der gegebenen Biegung des Kautschukschlauchs in *z* allein nicht im Stande sei, diesen Deckel abzuheben und frei zu halten — nur der Rückstoss der abgerissenen Wassersäule befähigt ihn dazu. Sonst bliebe das rhythmische Zuschliessen dieses Wasserventils unverständlich.

Die vielfachen Verwendungen, welche diese Pumpe dadurch, dass sie eine beliebige Luftverdünnung in einem abgeschlossenen Raume zu erzeugen und zu unterhalten gestattet, finden kann, brauchen wohl nicht weiter auseinandergesetzt zu werden. —

§ V. Methoden zur Analyse der Blutgase.[1])

Von den verschiedenen Vorrichtungen, welche zur Analyse der Gase nothwendig, sind folgende die wichtigsten: das Eudiometer und das Absorptionsrohr.

Auf Taf. XXXII Fig. 6, 7 und 8 sind einige solcher Apparate von verschiedener Form und Grösse dargestellt. Das mit der Retorte versehene Absorptionsrohr (Fig. 7) dient zur Einführung von Absorbenten. Die Länge der zur Verwen-

1) Wir werden hier nur kurz die wichtigsten Manipulationen sowie diejenigen chemischen Bestimmungsweisen beschreiben, welche speciell bei Analysen der Blutgase in Betracht kommen. Die beschriebenen Manipulationen gehören sämmtlich Bunsen, dessen classischem Buche „Die gasometrischen Methoden" ich auch bei dieser Beschreibung folge. Es ist aber durch die hier gelieferte kurze Beschreibung das Benutzen dieses classischen Werkes nicht entbehrlich gemacht.

dung kommenden Eudiometer schwankt zwischen 50—80 Centimeter, ihr Durchmesser ist etwa 20 Mm., die Dicke der Glaswände = 2 Mm.

In die grösseren Eudiometer werden nahe an der oberen Wölbung zwei Platindrähte eingeschmolzen, welche zur Durchleitung des elektrischen Funkens dienen; der Abstand ihrer freien Enden im Innern des Glases beträgt etwa 1—2 Mm. Das Einschmelzen geschieht in der Weise, dass man die betreffenden Stellen des Eudiometers stark erhitzt, sie dann mit der Spitze eines glühenden Platindrahts berührt und die anklebende Glasmasse auszieht. Die durch ihr Abschneiden entstehende Oeffnung wird zum Einschmelzen des Drahtes benutzt. Nach dem Einschmelzen des Drahtes muss durch Füllung des Cylinders mit Quecksilber und einige Schüttelbewegungen probirt werden, ob keine feine Oeffnung neben dem eingeschmolzenen Drahte geblieben ist.

Die Theilung des Eudiometers muss sehr sorgfältig mit Hülfe des auf Taf. XXXIII Fig. 1 abgebildeten Etalons *o o* ausgeführt werden. Dieses Etalon ist auf einer hohlen Glasröhre eingeätzt und liegt in der Rinne *a a*, unterhalb des ihn fixirenden messingenen Lineals *i i*. Die Theilung des Etalons ragt ein wenig über dem Rande des Lineals hervor.

Das Eudiometer wird mit Wachs überzogen und ganz in derselben Weise in einer Röhre zwischen zwe Linealen *c c* fixirt und zwar in der Weise, dass die Lineale etwas entfernt von der Stelle liegen, an welcher die Theilung angebracht werden soll. Mit Hilfe eines Zirkels wird nun auf die aus der Zeichnung verständliche Weise die Theilung von dem Etalon auf das Eudiometer übertragen. Bei gehöriger Uebung kann man, von dem Gefühl der Fingerspitzen geleitet, 50—60 Theilstriche in der Minute übertragen. Die langen Striche, welche den halben und ganzen Centimetern entsprechen, werden auf dem Lineal verzeichnet.

Ist die Theilung auf dem Wachsüberzug gemacht, so legt man das Eudiometer in eine Bleirinne, in welche früher eine Lage Flussspathpulver, mit concentrirter Schwefelsäure übergossen, gebracht wurde, und erhitzt dann diese Rinne an mehreren Stellen mittelst Spirituslampen (Fig. XXXII Taf. 1). Lässt man die Röhre darin 3 - 15 Minuten von Fliesspapier bedeckt liegen, so werden die Striche auf das Glas durch die sich entwickelnden wasserfreien Fluorwasserstoffdämpfe eingeätzt; von dem Gelingen der Aetzung überzeugt man sich durch Berührung eines Randtheilstückes mit den Nägeln.

Das auf derselben Tafel Fig. 5 abgebildete System gleich weit von einander stehender Linien, die auf einer Glastafel eingeätzt sind, dient dazu, um eine gegebene Länge in eine bestimmte Anzahl Theile zu theilen.

Dies geschieht in der Weise, dass man auf der Tafel mit einem Zirkel die Punkte bestimmt, in welchen die einzutheilende Länge gerade die Zahl der gewünschten Theilung besitzt. Hat man durch diese Punkte eine *d h* parallele Linie geführt, so kann man sie auf die oben angegebene Weise mit dem Stangenzirkel übertragen.

Ehe ein Eudiometer zur Gasmessung benutzt werden kann, muss es noch vorher calibrirt werden, da die eingeätzte Theilung nicht als directes Maass für den Rauminhalt dienen kann. Das Calibriren besteht darin, dass man die Längen bestimmt, welche gleich grosse Quecksilbervolumina in dem Cylinder einnehmen, und aus diesen Längen den ihnen entsprechenden Hohlraum berechnet.

Als Maass für das Volumen Quecksilber benutzt man kleine dickwandige Glasröhrchen *d* (Fig. 4 Taf. XXXIII) mit zugeschliffenen Rändern, an welche eine ebenfalls abgeschliffene Glasscheibe *c* angedrückt wird, um das überschüssige Quecksilber zu entfernen.

Beim Füllen dieses Maasses muss das spitz auslaufende Ende des Füllungstrichters *e* bis auf den Boden gesenkt werden, um etwaige Luftblasenbildung zu vermeiden. Dieses Maass kann etwa 20 Theilstriche des Eudiometers einnehmen. Das zur Füllung benutzte Quecksilber muss selbstverständlich immer dieselbe Temperatur besitzen.

Die Ueberführung des Quecksilbers aus diesem Maass geschieht bei dessen verticaler Stellung mittelst eines Trichters. Luftblasen werden mit einem Holzstab entfernt.

Die Ablesung des von dem hineingegossenen Quecksilbervolum eingenommenen Raumes geschieht mit einem Kathetometer; dies sowohl zur Vermeidung der Parallaxe, als um durch Annäherung beim Ablesen nicht die Temperatur des Quecksilbers zu erhöhen.

Nehmen wir nun an, die erste Ablesung bei *l* (Fig. 9) giebt an, dass das Quecksilberniveau bei der Theilung 23,3 ist, die zweite *i* bei 44,0, die dritte *a* bei 64,4, die vierte *c* bei 84,4, so ist der bis *l* eingenommene Raum gleich 23,3, zwischen *l* und *i* = 20,7, zwischen *i* und *a* = 20,4, zwischen *a* und *c* = 20,0 Theilstrichen.

Wenn man nun willkürlich das Volumen des Quecksilbers zu 20,7 (das Maximum) annimmt, so entspricht dem Theilstriche 23,3 das Volumen 20,7, dem Striche 44,0 das Doppelte, also 41,4, dem Striche 64,4 das Dreifache = 62,1 und dem Theilstriche 84,4 das Vierfache = 82,8.

Setzt man nun voraus, dass zwischen diesen abgelesenen Theilstrichen das Messrohr überall gleich weit ist, so lässt sich leicht berechnen, welches Volum jedem Theilstriche oder jedem Zehntheile eines Theilstriches entspricht, so z. B. ist für die Strecke *i a* jeder Theilstrich gleich $\frac{20,7}{20,4} = 1,0147$; 0,1 eines Theilstriches also 0,10147; für die Strecke *a c* ein Theilstrich $= \frac{20,7}{20} = 1,035$; ein Zehntel-Theilstrich also = dem Hohlraume 0,1035 und s. w.

Der jedem Theilstriche entsprechende (vom Boden an gerechnet) Hohlraum lässt sich dann leicht berechnen und ist es am bequemsten, sich eine Tabelle mit solchen Berechnungen für jeden benutzten Eudiometer anzulegen. Man stellt in einer solchen Tabelle jedem abgelesenen Theilstrich den ihm entsprechenden corrigirten Hohlraum entgegen. (Solche Tabellen siehe Bunsen: Die gasometrischen Methoden.)

Zu diesem corrigirten Hohlraum muss aber noch eine constante Grösse hinzuaddirt werden, damit das später abzulesende Gasvolum dem wirklichen ganz gleich ist. Die Nothwendigkeit dieser zweiten Correction ist aus dem Ansehen der Fig. 5 derselben Tafel einleuchtend.

Das Quecksilberniveau bildet bei der Ablesung des Quecksilberstandes, also Stellung des Eudiometers mit freier Oeffnung nach oben, einen Meniscus, von dem eigentlich nur der Höhepunkt abgelesen wird.

Das wirklich bestimmte Volum ist also nicht *olo*, sondern *ili*, also um *iooi* kleiner als das wirkliche.

Da bei der Ablesung des Gasvolums das Eudiometer mit der freien Oeffnung nach unten gekehrt ist, das Quecksilber also wieder einen Meniscus bildet, so wird das bestimmte Gasvolum zweimal um die Grösse *iooi* kleiner abgelesen werden. Um das Volum richtig zu erhalten, muss also diese Grösse mit 2 multiplicirt zu den abgelesenen Theilstrichen hinzugefügt werden. — Die Bestimmung dieser Grösse geschieht ein für allemal, indem man vorher den Höhepunkt des Quecksilberstandes wie gewöhnlich abliest, dann auf seine Oberfläche etwas Sublimatlösung hinaufgiesst (wodurch das Quecksilber eine horizontale Oberfläche erhält) und von Neuem ihren Stand bestimmt — die Differenz der beiden Ablesungen ist die Grösse *iooi*.

Es erübrigt uns noch, einige Handgriffe für die Füllung der Eudiometer, die Ueberführung der Gase etc. anzugeben. —

Die Gasanalysen werden am besten in einem speciell dazu bestimmten hell erleuchteten Zimmer vorgenommen, dessen Temperatur möglichst geringen Schwankungen unterworfen ist und das man mit Wachsleder zum Auffangen des Quecksilbers austapeziert. —

Für die Versuche dient ein grosser Tisch, an den Rändern mit Rinnen versehen, die in der Mitte in ein gemeinschaftliches Sammelrohr zusammenfliessen (siehe Fig. 2 Taf. XXXII, auf welcher die nöthwendigsten Zubehöre solcher Versuche zusammengestellt sind).

Bei den Messungen werden die Eudiometer zusammen mit dem Quecksilbergefäss, in welches ihr offenes Ende getaucht ist, am besten in einen eisernen Schrank mit Wänden aus Spiegelglas gebracht, der mit Wasser von möglichst gleichmässiger Temperatur gefüllt ist. Das Hineinbringen des Eudiometers geschieht im Ludwig'schen Laboratorium in der Weise, dass es auf einem Stative befestigt wird, das an einer über eine Rolle gehenden Schnur aufgehängt ist und in beliebiger Höhe in den eisernen Kasten heruntergelassen werden kann. Ist man nicht im Besitze eines solchen Wasserbehälters, so kann man zu demselben Zwecke die kleine Bunsen'sche Wanne (sie ist aus Holz, mit zwei Spiegelglaswänden) benutzen (Fig. 3 und 8 Taf. XXXIII). Um eine Adhäsion des Quecksilbers an den Holzwänden herbeizuführen, werden sie vorher mit Quecksilber und Sublimatauflösung abgerieben. Zum Fixiren des Eudiometers werden Stative und mit Filz ausgelegte Holzrinnen benutzt, wie sie in Fig. 3 abgebildet sind.

Die Eudiometer müssen vor der Füllung mit Wasser gereinigt und dann mit Fliesspapier getrocknet werden. Der hölzerne Stab (Fig. 6), oben mit Drahtstiften zum Festhalten des Papiers versehen, dient zu solcher Reinigung. Die Papierfäserchen, welche etwa an den Wänden nachbleiben, müssen sorgfältig entfernt werden, da sie sonst durch Verbrennung bei Entzündung des Gases zu Fehlern veranlassen können. Die in Figur 7 derselben Tafel abgebildete schmale Röhre dient dazu, um, wenn nöthig, auf den Boden des Eudiometers ein paar Wassertropfen zu bringen, um das zu messende Gas mit Wasserdampf zu sättigen.

Sollten bei der Füllung des Eudiometers doch welche Luftblasen mit hinein-

gelangen, so müssen sie in bekannter Weise durch Anklopfen, leises Schütteln u. s. w. entfernt werden.

Die Ueberführung der Gase aus dem Gasrecipienten der Blutgaspumpen geschieht am besten auf die bei der Beschreibung der Pflüger'schen Pumpe angegebene Weise; sollten aus anderen Gefässen Gase überzuführen sein, so geschieht dies in der Quecksilberwanne, und zwar mit äusserster Vorsicht, damit nicht Luftblasen in das Eudiometer mit gelangen.

Sämmtliche Ablesungen geschehen mittelst eines beweglichen Fernrohrs (Fig. 2 Taf. XXXII).

Die Grössen, welche bei der Bestimmung eines Gasvolums abgelesen werden müssen, sind der obere Stand des Quecksilbers in dem Eudiometer, der Stand des Quecksilbers in den Wänden der Wanne (durch die Theilstriche des Eudiometers gemessen), der Barometerstand und die Temperatur. Zum Zweck der beiden letzteren Ablesungen dient ein Barometer n sammt mit ihm verbundenem Thermometer die so nahe als möglich dem Eudiometer gebracht werden, um gleichzeitig mit dem Fernrohr gesehen werden zu können. Die Ablesung des obersten Quecksilberstandes in dem Eudiometer giebt mit Hilfe der Calibrirungstabelle (s. oben) das Volumen des zu messenden Gases an; die Bestimmung des Niveaustandes in der Quecksilberwanne dient, um die Höhe des Druckes zu berechnen, welcher dem Barometerdruck entgegenwirkt. Diese Höhe ist gleich der Differenz zwischen den beiden abgelesenen Quecksilberständen und wird von dem abgelesenen Barometerstand abgezogen.

Um die Theilstriche an dem Eudiometer schärfer hervortreten zu lassen, thut man gut, sie mit etwas Zinnober einzureiben; um das Niveau des Quecksilbers in der Wanne ablesbarer zu machen, schiebt man zwischen Glaswand und Quecksilber einen weissen Papierstreifen ein, durch dessen Spalt man dann die Theilstriche sieht (Fig. 8).

Man darf die Ablesungen nicht eher beginnen, als bis anzunehmen ist, dass die Temperatur der Apparate eine constante geworden ist. Eine Wasserwanne, wie sie bei Ludwig zur Verwendung kommt (s. oben), ist daher für solche Zwecke von grossem Vortheil, um so mehr, als durch die angegebene Aufhängeweise des kleinen Quecksilbergefässes (in welches das Eudiometer gesenkt ist) sich auch am leichtesten die genaue verticale Einstellung des Eudiometers herstellen lässt, welche bei den Ablesungen durchaus erforderlich ist. Am letzten wird der Barometerstand abgelesen.

Die abgelesenen Volumina der Gase werden in Deutschland auf 0^0 und 1 Meter Druck reducirt; in Frankreich meistens auf 760 Mm. Druck; die verschiedenen Angaben lassen sich durch das Verhältniss von $\frac{1000}{760}$ leicht vergleichbar machen.

Wenn man den abgelesenen Barometerstand durch b bezeichnet, die Differenz im Stande des Quecksilbers im Eudiometer und in der Wanne durch b', die Temperatur durch t, die ihr entsprechende Spannung des Wasserdampfes (wenn das Gas feucht war) durch b'', den Fehler des Meniscus durch m und das aus der Correctionstabelle erhaltene Gasvolum durch v, so ist das auf 0^0 und 1 Meter Druck reducirte Gasvolum v' aus folgender Gleichung zu erhalten.

$$v' = \frac{(v+m)(b-b'-b'')}{(1+0.00366\,t^0).\ ^1)}$$

Von den bei der Gasanalyse noch in Anwendung kommenden Vorrichtungen sind hier noch einige zu beschreiben.

Fig 4 Taf. XXVIII stellt den Bunsen'schen Apparat zur Entwickelung des Knallgases, bekanntlich eines unentbehrlichen Hilfsmittels bei Gasanalysen, dar.

In die schmale Flasche, welche oben geschlossen und mit einem Abzugsrohre *c* versehen ist, wird chemisch reine Schwefelsäure zehnfach verdünnt eingeführt, und die darein getauchten Platinplatten *dd* werden vermittelst der Platindräthe *ll* mit einer Batterie von 3—4 Bunsen'schen Elementen verbunden.

Beim Schluss der Batterie wird ein Gasstrom entwickelt, der durch die Abzugsröhre *c* unter Quecksilber in das Eudiometer geführt werden kann, nachdem er vorher die mit etwas Schwefelsäure gefüllte Kugel *a* durchpassirt. Um die Erhitzung der Poldrähte zu verhüten, wird das Gefäss in den mit Alkohol gefüllten Glascylinder *bb* gestellt.

Die in Fig. 5 derselben Tafel abgebildete Vorrichtung dient zur Entwickelung auf elektrolytischem Wege von ganz reinem Wasserstoff. Die innere Glasflasche wird mit zehnfach verdünnter chemisch reiner Schwefelsäure gefüllt und der Strom einer Batterie aus 2—3 Elementen in der durch die Pfeile angezeigten Richtung durchgeleitet; der positive Pol *k* besteht aus einem amalgamirten Zinkdraht, der in Quecksilber schwimmt und an den Leitungsdraht aus Platin angelöthet ist. Der negative Pol *d* ist aus Platinblech. Auch diese Flasche wird in einen mit Alkohol gefüllten Cylinder *y y* gestellt. Das Abflussrohr *n* dient zur Entleerung der Flasche, welche nach jedem Gebrauch frisch gefüllt werden muss. Bei der Neufüllung öffnet man *n*, entfernt das Ableitungsrohr *l* und giesst die neue Flüssigkeit durch das Reservoir *r* ein.

Der auf Taf. XXX Fig. 3 abgebildete Apparat dient, um das bei der Verbrennung im Eudiometer erzeugte Wasser in Dampfgestalt zu messen. *N* ist ein eiserner Kessel, der oben in einen langen gläsernen Cylinder *bb* ausläuft, der durch den Deckel *a* mit einer für die Abzugsröhre *e* bestimmten Oeffnung, versehen ist. Dieser Deckel besitzt einen Träger *ii*, auf welchem das Eudiometer *c* in einem mit Quecksilber halbgefüllten Gefässe *l* ruht. Füllt man den Kessel *N* bis zur Hälfte mit Wasser und bringt es zum Sieden, so wird der Wasserdampf, der durch *e* entweicht, im Cylinder *bb* eine Temperatur von 100 °C erzeugen, welche ganz ausreicht, um das im Eudiometer unter einem niedrigern Drucke als der atmosphärische stehende Wasser zur vollständigen Verdampfung zu bringen.

Die Entzündung des Gasgemenges geschieht durch einen elektrischen Funken, der von einer kleinen Leidener Flasche (Fig. 2 Taf. XXXIII) geliefert wird. Zum Laden dieser Flasche kann man in Ermangelung einer gut wirkenden Elektrisirmaschine eine einfache Porzellanröhre verwenden, welche in der Nähe des Knopfes der Flasche mit einem besondern Amalgam[2]) gestrichen wird.

---

1) Wegen der Details der Berechnungen muss auf Bunsen verwiesen werden, wo sich auch die dazu nöthigen Tabellen befinden.

2) Die Leidener Flasche rathet Bunsen von innen mit Staniol, von aussen mit Platinfolie zu belegen. Ueber die Anfertigungsweise dieses Amalgams siehe Bunsen's „Gasometrische Methoden" pag. 51.

Das Verfahren bei der Bestimmung der Gasvolumina nach der Bunsen'schen Methode ist dem Principe nach sehr einfach; hat man z. B. in dem Eudiometer (wie gewöhnlich bei den Analysen der Blutgase) ein Gemenge von 3 Gasen, Kohlensäure, Sauerstoff und Stickstoff, und handelt es sich darum, ihre entsprechenden Volumina zu bestimmen, so liest man zuerst das Volumen dieses Gemenges ab und führt dann in das Eudiometer unter dem Quecksilber eine feuchte Kugel aus Aetzkali ein, die an einen Platindraht angeschmolzen ist. Die darin enthaltene CO_2 wird dadurch absorbirt. Liest man nach Entfernung der Kugel von Neuem das Gasvolumen ab, so hat man durch die Differenz der beiden abgelesenen Volumina das verschwundene Volumen der Kohlensäure. — Bei grössern Mengen CO_2 muss die Kugel zum zweiten Mal in das Gas gebracht werden, nachdem man sie vorher durch Abspülen mit Wasser von der Kruste des gebildeten kohlensauren Salzes befreit hat.

Um das Sauerstoffvolum zu bestimmen, führt man in das Eudiometer reinen Wasserstoff ein und zwar in einer doppelt so grossen Menge, also die des vermutheten Sauerstoffs, und lässt einen elektrischen Funken durch die im Eudiometer befindlichen Drähte durchschlagen; das beim Verbrennen gebildete Wasser besteht aus $^1/_3$ Sauerstoff und $^2/_3$ Wasserstoff. Um das Sauerstoffvolum zu erhalten, braucht man also die jetzt eingetretene Volumverminderung nur durch 3 zu dividiren. [1])

Nach jeder Verbrennung oder Absorption muss selbstverständlich das Eudiometer in der Quecksilberwanne ein Paar Mal bewegt werden, damit das Quecksilberniveau in den beiden Gefässen wieder ganz gleich wird. Das Stickstoffvolum erhält man durch Abzug der Volumina des Sauerstoffs und der Kohlensäure von dem früheren Volumen des Gasgemenges.

So vorzüglich das Bunsen'sche Verfahren auch ist, so ist es doch, wenn es darauf ankommt, eine grosse Menge Analysen in kurzer Zeit zu machen, ziemlich weitläufig. Man hat also auch für solche Fälle zu andern Methoden seine Zuflucht genommen. So z. B. hat Regnault bei seinen Respirationsversuchen ein Verfahren benutzt, welches auf einem ganz anderen Principe beruht. Während bei der Bunsen'schen Methode die Aenderungen der Gasvolumina unter demselben Drucke bestimmt werden, misst Regnault die verschiedenen Drucke, welche nothwendig sind, um dem Gase immer dasselbe Volumen zu geben; dieses Verfahren kann natürlich ebenso genau, wie das Bunsen'sche sein, da nach dem Mariotte'schen Gesetze die Volumina der Gase umgekehrt proportional den Drucken sind.

(Diese Regnault'sche Methode ist zuerst in der citirten Mittheilung seiner berühmten Respirationsversuche ausführlich beschrieben und durch Abbildungen erläutert worden.)

Noch einfacher, aber auch etwas weniger genau ist die von Cl. Bernard benutzte Methode der Gasanalyse.

Die Kohlensäure wird durch ein Stückchen Aetzkali absorbirt, das sich in der kleinen Wassermenge auflöst, die man vorher auf der Quecksilberoberfläche im

1) Sollte das Gemenge von Wasserstoff und Sauerstoff schwer entzündlich sein, so fügt man etwas elektrolytisches Knallgas zur Herstellung der vollständigen Verbrennbarkeit hinzu.

Eudiometer eingebracht hat. Nachdem durch einiges Schütteln die CO_2 zur Absorption gebracht worden ist, führt man in das Eudiometer einige Centimeter einer concentrirten Lösung von Pyrogallussäure ein, die in Anwesenheit des Kali den Sauerstoff beim Schütteln des Eudiometers absorbirt. Nachdem das Gasvolumen aufgehört hat, sich zu vermindern (was auf eine vollständige Absorption des Sauerstoffs hinweist), wird das Eudiometer unter Quecksilberverschluss aus der Wanne herausgeholt und in ein Wasserbad gebracht. Lässt man den Finger, welcher das Eudiometer verschlossen hält, los, so fällt das Quecksilber sowie die anderen Flüssigkeiten aus ihm heraus und das Volum des Stickstoffs wird dann über dem Wasserbade abgelesen.

Die auf diese Weise bestimmten Gasvolumina können selbstverständlich auf absolute Genauigkeit keinen Anspruch machen; für schnell auszuführende Bestimmungen aber, wo es auf solche Genauigkeit nicht ankommt, ist das Verfahren wegen seiner Einfachheit und leichten Ausführbarkeit ohne Hilfe besonderer Apparate zu empfehlen.

Die Correctionen der Temperatur, des Druckes und der Feuchtigkeit werden auch hier in derselben Weise wie bei den übrigen analytischen Methoden gemacht.

Diese Bernard'sche Methode kann um Vieles genauer gemacht werden, wenn man nicht dieselben Eudiometer, welche man zur Absorption der Kohlensäure benutzt hat, wieder zur Einführung der Pyrogallussäure gebraucht, sondern vorerst die Gase in ein anderes trockenes Eudiometer überführt. — Am besten ist es daher auch, man benutzt für die Kohlensäureabsorption nicht eine Aetzkalilösung, sondern die schon erwähnten Kugeln; man führt dann die Gase in ein zweites Eudiometer über und bringt jetzt zur Absorption des Sauerstoffs Coakskugeln ein, welche mit pyrogallussaurem Kali durchtränkt sind. Man schliesst auf vollständige Absorption des O nur dann, wenn nach Einführung einer neuen Kugel keine Volumveränderung mehr eintritt. Diesen Schluss aus der Zeit des Verweilens zu ziehen ist sehr verfehlt, da die Absorption oft stundenlang fortdauern kann (Bunsen). Estor und St. Pierre, welche den Sauerstoff durch solche Kugeln oder durch Phosphor absorbiren liessen, haben die hier erwähnten Vorsichtsmaassregeln nicht angewendet; daher die Unzuverlässigkeit ihrer Resultate.

Zur genauen Analyse beliebiger bei der Respiration ausgeathmeter Kohlensäuremengen wird jetzt meistens die Pettenkofer'sche Titrirmethode verwendet, welche genauer als die bisherigen angewendeten Wägungen der Absorbenten ist. In dem vorigen Paragraphen wurde schon mehrmals erwähnt, dass Pettenkofer und Voit zur Absorption der Kohlensäure ihre Röhren (*hh* der Zeichnung) mit Barytwasser füllen. Das zur Füllung dieser Röhren *hh* benutzte Barytwasser ist von einer Concentration, bei welcher 30 CC. etwa 90 Milligramm CO_2 zur Sättigung brauchen; die kleinen Absorptionsröhren *h'h'*, in welche die Luftproben erst nach dem Durchtritte von *hh* gelangen, werden mit einem Barytwasser gefüllt, welches auf 30 CC. nur 30 Milligramme Kohlensäure erfordert. Um Barytwasser von diesen verschiedenen Stärken zu erhalten, werden im ersten Falle auf 8 Liter destillirtes Wasser 21 Gramm krystallisirtes Barythydrat, im zweiten auf dieselbe Menge Wasser nur 7 Gramm verwendet. Zur Titrirung des Barytwassers benutzt Pettenkofer verdünnte Oxalsäure, welche in einem Liter Wasser 2,8636

Gramm reine krystallisirte Oxalsäure enthält, die weder verwittert ist, noch freies Wasser enthält.[1])

Von dieser Lösung entspricht 1 CC. genau einem Milligramm CO_2; hat man also ermittelt, wie viel Cubikcentimeter dieser Oxalsäurelösung zum Neutralisiren einer bestimmten Menge eines Barytwassers von bekannter Concentration erforderlich sind, so weiss man gleichzeitig, wie viele Milligramme CO_2 zu demselben Zwecke nöthig wären. Ist es aber bekannt, wie viel Oxalsäure für die Neutralisation des verwendeten Barytwassers erforderlich ist, wenn es ganz rein ist, und untersucht man nun, wie viel zu demselben Zweck Oxalsäure hinzugesetzt werden muss, nachdem es während einiger Zeit die Kohlensäure der Luft absorbirt hat, so ergiebt die Differenz dieser beiden Mengen Oxalsäure, wie viel Kohlensäure schon durch das Barytwasser absorbirt worden ist; mit anderen Worten, wie viel Kohlensäure darin enthalten ist. Sind z. B. für die Neutralisation von 30 CC. Barytwasser 90 CC. Oxalsäure oder 90 Milligramm CO_2 nothwendig und zeigt es sich nach dem Versuche, dass für dieselbe Menge Barytwasser nur noch 60 CC. Oxalsäure erforderlich sind, so beweist dies, dass in 30 CC. des Barytwassers 30 Milligramm CO_2 enthalten sind.

Zur Prüfung der Neutralisation verwendet Pettenkofer Curcumapapier[2]). Das zu prüfende Barytwasser wird zu 30 CC. in Glaskölbchen gegossen, die Titrirflüssigkeit wird aus einem in $^1/_5$ Centimeter getheilten Mohr'schen Messrohre (mit Erdmann'schen Schwimmer) allmählich zugelassen und von Zeit zu Zeit das Kölbchen geschüttelt.

Wenn das Curcumapapier beim Eintauchen keine Bräunung mehr zeigt, so beweist dies, dass der grösste Theil des Baryts schon neutralisirt ist. Wird nun mit einem Glasstab ein Tropfen der Flüssigkeit auf das Papier gebracht, so bildet sich um ihn noch ein brauner Ring. Mit dem vorsichtigen Zusatz der Oxalsäurelösung wird fortgefahren, bis diese Bräunung endlich nicht mehr stattfindet. Das Papier ist so empfindlich und die Bräunung so deutlich, dass man noch mit Bestimmtheit die Wirkung von $^1/_{10}$ CC. Oxalsäure constatiren kann.

Pettenkofer rathet, wenn der Sättigungsgrad des Barytwassers mit CO_2 auch nicht annähernd bekannt ist, zuerst eine kleine Menge dieses Wassers annähernd mit Oxalsäure zu prüfen; dann nähert man sich bei der Titrirung der 30 CC. mit einem Male der wahrscheinlich zu verwendenden Oxalsäuremenge bis auf etwa 1 CC.

Damit diese Methode genaue Werthe liefert, ist es ein Haupterforderniss, dass das Barytwasser auch nicht die geringsten Spuren von Aetzkali oder Aetznatron enthält, — weil sonst die neutralen oxalsauren Alkalien mit den kohlensauren alkalischen Erden sich zu oxalsaurem Baryt und kohlensaurem Kali oder Natron umsetzen.

---

1) Man überzeugt sich mit der Loupe, ob die Oxalsäure nicht verwittert ist; um sie wasserfrei zu haben, hält man sie ein paar Stunden über Schwefelsäure. Von der Oxalsäurelösung darf man nur geringe Quantitäten vorräthig halten.

2) Das Curcumapapier, welches für diesen Zweck bestimmt ist, wird mit kalkfreiem ungeleimten schwedischen Filtrirpapier und Curcumatinctur bereitet; der dazu verwendete Weingeist muss säurefrei sein. Das nasse Papier wird im Dunkeln getrocknet und auch später vor Licht geschützt.

Scheremetevsky hat bei seinen schon erwähnten Untersuchungen im Ludwig'schen Laboratorium sich der Pettenkofer'schen Methode für Kohlensäurebestimmungen mit folgender Modification bedient. Er benutzte zur Neutralisation des Barytwassers statt der Oxalsäure sehr verdünnte und genau graduirte Schwefelsäure, welche mit Lackmustinctur versetzt war. Die Barytlösung wurde so lange in die Schwefelsäure eingelassen, bis die Flüssigkeit eine weinrothe Färbung annahm; dieses Verfahren soll übereinstimmendere Resultate liefern, als die mit Curcumapapier erhaltenen.

§ VI. Erzeugung von Dyspnoe und Apnoe.

Dyspnoetische Erscheinungen können bei Thieren auf doppelte Weise erzeugt werden: entweder indem man die Luftwege zu den Lungen absperrt resp. stark verengt, oder indem man ihnen für den Gaswechsel indifferente Gase einbläst resp. die Thiere selbst einzuathmen zwingt. Die eintretenden dyspnoetischen Erscheinungen sind auch bekanntlich je nach den Ursachen, welche sie veranlassen, im Beginne ganz von einander verschieden.

Will man Dyspnoe durch Verhinderung des Luftzutritts hervorrufen, so thut man am besten, in die Trachea eine Canüle einzuführen, deren freies Ende man mit einem Hahne versieht. Durch die beliebige Stellung des Hahnes kann man die Luftwege in den verschiedenen Phasen des Athmungsactes verengern oder verschliessen. Am lehrreichsten sind die Erscheinungen, welche eintreten, wenn die Absperrung der Luft vor dem Beginne oder sofort nach Beendigung einer Inspiration geschieht: im ersten Falle tritt ein heftiger Tetanus sämmtlicher Inspirationsmuskeln, im zweiten sämmtlicher Exspirationsmuskeln ein; — dauert die Absperrung längere Zeit fort, so geht dieser Tetanus in allgemeine anhaltende Krämpfe fast aller Rumpfmuskeln über. Indifferente Gase, wie Wasserstoff, Stickstoff erzeugen dyspnoetische Erscheinungen, wenn sie auch mit Sauersoff gemengt sind, nur wenn der Gehalt dieses letzteren Gases unter 8% gebracht ist. Die Einathmung dieser Gase geschieht mittelst Gasometer und Ventilapparate, wie wir deren einige beschrieben.

Um die Wirkung des Sauerstoffmangels und der CO_2-Anhäufung gesondert zu demonstriren, thut man gut, zuerst das Thier reinen Sauerstoff athmen zu lassen, wobei also eine Kohlensäureabgabe wie vorher stattfinden kann und dann ein Gemisch, das viel Kohlensäure aber auch Sauerstoff in denselben Mengen wie die atmosphärische Luft oder sogar noch mehr enthält.

Traube, der zuerst ähnliche Versuche ausgeführt hat, eröffnete dabei die Thoraxhöhle und durchstach an vielen Stellen die Lungen mit einer Nadel; leitete er so durch die Lungen Sauerstoff oder atmosphärische Luft durch, so verschwand die Dyspnoe; sie erschien aber wieder, wenn Wasser- oder Stickstoff durchgeleitet wurde. Diese Verfahrungsweise bedingt zwar grosse Verletzungen, hat aber den Vortheil, mit einfachen Mitteln eine sehr energische Ventilation erzeugen zu können.

Man überzeugt sich auf diese Art, dass, wenn Kohlensäureanhäufung auch ein eben solcher Reiz für das Athmungscentrum wie für alle anderen motorischen Centra des Rückenmarks ist, doch der Sauerstoffmangel in einer ganz besonderen intimeren Beziehung zu diesem Centrum steht.

Nicht minder lehrreich sind die dyspnoetischen Anfälle, welche man nach Hering's Vorgange dadurch erzeugt, dass man die Lungen durch Lufteinblasung in die Thoraxhöhle collabiren lässt oder umgekehrt durch Aussaugung derselben ausdehnt resp. am Zusammenfallen hindert.

Dies wird am besten in folgender Weise erzeugt: man bindet dem Thiere eine Ludwig'sche Canüle für Messungen des Seitendruckes (Taf. III Fig. 3 und 4) in einen der mittleren Intercostalräume der rechten Thoraxhälfte luftdicht ein. Die Oeffnung zur Einführung der tieferen Platte muss so klein als möglich gemacht, die obere Platte fest an die äussere Wand des Zwischenrippenraumes angedrückt werden. Am besten ist es daher, die Intercostalmuskeln gar nicht zu durchschneiden, sondern, nachdem ein kleiner Hautschnitt gemacht worden ist, die untere Platte durch die Faserung der Muskeln durchzubohren und, sobald sie eingedrungen ist, die obere zuzuschieben. Ehe dies geschieht, muss das freie Ende der Canüle mit einer Kautschukröhre verbunden werden, die durch eine Klemme abgeschlossen ist, um keinen Lufteintritt in die Pleurahöhle zu gestatten.

Man ruft dann durch stärkere Lufteinblasung in diese Höhle beim Beginn einer Inspiration, indem man also die Ausdehnung der Lunge hemmt, sofort einen Tetanus der Inspiratoren hervor. Dieser Tetanus entsteht auch, wenn auch nicht so stark ausgeprägt, wenn dieses Collabiren der Lunge in einem anderen beliebigen Moment der Athmung geschieht.

Bläht man dagegen die Lunge auf, indem man die Luft aus der Thoraxhöhle aussaugt, so entstehen verlängerte Exspirationstetanuse. Hat man die Lufteinblasungen und Auspumpungen durch die Mundhöhle nicht ganz in der Gewalt, so greift man lieber zu einer gut luftdicht schliessenden Spritze, welche man mit der Kautschukröhre der Canüle verbindet. Dies bietet noch ausserdem den Vortheil, dass man genau wissen kann, ob alle in die Thoraxhöhle hineingetriebene Luft auch wieder ausgesaugt wurde. Die wichtigsten Hindernisse bei diesen Versuchen bestehen sowohl in der Inconstanz der Erfolge als in der Schwierigkeit, durch das blosse Anschauen zu bestimmen, ob die eintretenden krampfhaften Athembewegungen durch die Inspiratoren oder Exspiratoren geschehen.

Sämmtliche Versuche dieser Kategorie sind am zweckmässigsten an mit Opiumtinctur oder Morphium narkotisirten Kaninchen anzustellen; die Narkose ist hier wegen der theilweisen Abhängigkeit des Athmungscentrums von dem Willensorgane in keiner Weise zu umgehen. Nun ist es aber nicht immer mit Sicherheit möglich, bei Kaninchen den erforderlichen Grad der Narkose herbeizuführen; daher der Hauptgrund der Inconstanz der Erfolge, welcher man bei der Wiederholung der Hering'schen Versuche begegnet.

Ohne Hilfe besonderer Vorrichtungen, welche den Zustand der wichtigsten Athmungsmuskeln deutlich anzeigen sollen, ist es auch bei grosser Uebung nicht leicht, sich über diesen Zustand genau Rechenschaft abzulegen. Am ehesten gewinnt man noch diese Uebung im Beobachten der Nasenflügel, weil deren Stellungen besonders bei erschwerter Athmung zu charakteristisch sind, um missdeutet werden zu können. Durch Eröffnung der Bauchhöhle das Zwerchfell bloszulegen, ist aus mehreren naheliegenden Gründen nicht rathsam, um so mehr, als es ohne einige Uebung auch nicht leicht ist, durch blosses Ansehen des Zwerchfells sofort seinen Zustand zu bestimmen. Bei Hunden und Katzen ist dies schon eher möglich,

bei Kaninchen aber oft sehr schwierig.[1]) Man muss daher zu irgend welchen mechanischen Mitteln greifen, um den Stand des Zwerchfells zu erkennen.

Ausser den schon im ersten Paragraphen beschriebenen Vorrichtungen sind hier besonders für Vorlesungszwecke noch folgende zu empfehlen.

Man sticht nach Snellen's Vorschlage eine lange Nadel durch die Bauchdecken in der Weise, dass sie etwa zwischen Leber und Zwerchfell zu liegen kommt. Die Excursionen dieser Nadel sind leicht sichtbar, können aber durch Verbindung mit einer Glocke oder Hebelvorrichtung noch evidenter gemacht werden. Die auf Taf. XXVIII Fig. 3 abgebildete Vorrichtung (von Burdon-Sanderson) eignet sich auch sehr gut für solche Zwecke. Verbindet man den Faden *a* mit einer solchen Nadel, so wird jede ihrer Bewegungen durch die Rolle *b* auf den Hebel *c* übertragen und kann in dieser Weise sogar verzeichnet werden.

Rosenthal macht für ähnliche Vorlesungszwecke noch einen anderen zu empfehlenden Vorschlag. Durch einen kleinen in der Linea alba gleich unterhalb des Proc. xiphoideus gemachten Schnitt wird zwischen Leber und Zwerchfell ein Beutelchen eingeschoben, das in eine Glasröhre ausläuft; füllt man die Röhre nebst Beutelchen mit einer gefärbten Flüssigkeit, so sieht man in der verengten Fortsetzung dieses Rohres die durch die Contractionon des Zwerchfells erzeugten Schwankungen.

Für ähnliche Zwecke greife ich bei den Vorlesungen zu folgendem einfachen Handgriffe: ich verbinde die Trachea des Kaninchens durch eine Canüle mit den Müller'schen Ventilen, von denen das Exspirationsventil mit blau-, das Inspirationsventil mit rothgefärbtem Wasser gefüllt ist; anhaltende Exspirationen und Inspirationen geben sich sofort durch Blasenbildungen in den entsprechenden Flacons auf das Deutlichste kund.

Die einfachste Weise, die Abhängigkeit des Athmungscentrums von dem Erregungszustande der Lungenverzweigungen der Vagi zu beobachten, besteht darin, dass man bei einem unvergifteten, oder bei einem mit hypnotischen Mitteln narkotisirten Thiere künstliche Lufteinblasungen macht; man sieht dann an den Nasenflügeln Bewegungen, welche in demselben Rhythmus wie die künstlichen Lufteinblasungen geschehen — und zwar nehmen die Nasenflügel bei dem Aufblasen der Lunge eine exspiratorische, bei dem Zusammenfallen eine inspiratorische Stellung ein. In gewissen Grenzen kann man durch Aenderungen des Athmungsrhythmus auch den Rhythmus dieser Nasenflügelbewegungen variiren.

Seitdem wir, Dank der schönen Untersuchung Hering's, den Grund dieser auffallenden Erscheinung kennen gelernt haben, kann sie zu einem eleganten Vorlesungsversuch benutzt werden.

Wie bei allen oben beschriebenen Hering'schen Versuchen müssen auch bei diesem, nachdem die zu beobachten den Erscheinungen erhalten wurden, beide Vagi am Halse durchtrennt werden, um die Abhängigkeit dieser Erscheinungen von reflectorischen durch die Vagi geleiteten Erregungen zu beweisen.

Die Erzeugung von Apnoe ist nicht mit derselben Leichtigkeit und hauptsächlich nicht auf dieselbe Dauer wie die von Dyspnoe möglich. Apnoe wird am ein-

---

1) Budge empfiehlt mit Recht, um die Orientirung über den Zustand des Zwerchfells bei Kaninchen zu erleichtern, irgend ein Blutgefäss oder einen Rippenrand zur Marke zu wählen und die Verschiebung des Zwerchfells an diesem Rand zu beobachten.

fachsten auf die von Rosenthal zuerst angegebene Weise ausgeführt, indem man dem Thiere eine grosse Anzahl Lufteinblasungen in einer möglichst kurzen Zeit macht. Der in Folge veränderter Sauerstoffspannung im Blute eintretende Stillstand in den Contractionen der Inspirationsmuskeln dauert längere oder kürzere Zeit, je nach der Dauer und Tiefe der vorgenommenen Einblasungen. Rosenthal hat solchen Stillstand fünf Minuten anhalten sehen; Pflüger gelang es selten, auch nur einen 2 Minuten langen Stillstand zu beobachten. Auch mir wollte es nie gelingen, einen apnoetischen Zustand mit Lufteinblasungen länger als 1—2 Minuten andauern zu lassen; dagegen scheint dies durch Einblasungen von Sauerstoff, wenn dieselben energisch während mehrerer Minuten fortgesetzt werden, leichter zu erzielen zu sein. —

Der Stillstand ist besser an den Nasenflügeln als an dem Zwerchfell zu beobachten, da bei den Ausdehnungen der Lungen durch Einblasungen das Zwerchfell passive Bewegungen mitmacht, welche für wirkliche Zusammenziehungen gehalten werden können.

Um auf Veränderungen des Gasgehaltes des Blutes mit Sicherheit schliessen zu können, ist es erforderlich, sowohl während der dyspnoetischen, als während der apnoetischen Zustände Blutproben mit Sorgfalt aus den Blutgefässen zu entnehmen und auf ihren Gasgehalt zu prüfen.[1])

§ VII. Versuche über die Innervation der Athmungsorgane.

Schon die im vorigen Paragraphen mitgetheilten Versuchsweisen beziehen sich zum Theil auf die Erscheinungen dieser Innervation. Hier sollen ausführlicher die directen Operationsverfahren beschrieben werden, welche sowohl das Athmungscentrum selbst, als auch die von ihm abhängigen oder in seine Thätigkeit eingreifenden Nerven zum Versuchsobject haben.

Die Versuche über das Centrum der Athembewegungen bestehen fast ausschliesslich in den schon von Galen und von Larry zu diesem Zweck geübten Durchschneidungen des Halsmarks und der Medulla oblongata auf verschiedenen Höhen.

Die späteren Versuche von Legallois, Flourens, Longet u. A. haben zwar die Lageverhältnisse dieses Centrums genauer festzustellen versucht, sind aber in methodischer Hinsicht von denen Galen's wenig verschieden.

Will man am blossgelegten Athmungscentrum operiren, so verfährt man dabei ganz in derselben Weise wie bei der Blosslegung der Medulla oblongata für Versuche über das Gefässnervencentrum (s. Cap. II § XIII). (Selbstverständlich dürfen

---

1) Höchst interessante Untersuchungen über den Einfluss des erhöhten Luftdrucks auf thierische und pflanzliche Organismen hat P. Bert in den letzten Jahren in grosser Anzahl angestellt und deren Resultate in den Berichten der Pariser Akademie niedergelegt. (Diese einzelnen Mittheilungen sind jetzt auch gesondert als vorläufige Mittheilung erschienen. Eine ausführliche Beschreibung und Abbildung der verwendeten meistens sehr complicirten Vorrichtungen fehlt noch bis jetzt. Es gelang mir nicht, aus eigener Anschauung dieselben kennen zu lernen, da während meiner Anwesenheit in Paris die Apparate schon auseinandergenommen waren, um bei dem Eigenthümer derselben, dem Dr. Jourdannet, aufgestellt zu werden. Nach den vorhandenen kurzen Notizen, sowie nach der mündlichen Auskunft zu urtheilen, welche mir P. Bert freundlichst ertheilt hat — eignen sich diese Apparate ganz vorzüglich, um plötzlich oder allmählich bedeutende Druckänderungen zu erzeugen. —

die Thiere dabei nicht curarisirt werden; auch sonstige Narcotica sind besser zu vermeiden.)

Das Thier wird in der Bauchlage befestigt und die Blosslegung und Abtragung der Membrana obturatoria in der auf Seite 195 angegebenen Weise ausgeführt. Das Athmungscentrum nimmt den Platz etwa von der Mitte des V, welches die graue Substanz hier bildet, bis zu seiner Spitze ein.

Die frühere Angabe von Flourens, dieses Centrum nehme nur eine punktförmige Stelle an der Spitze dieses V ein, und man könne durch den Einstich einer kleinen emporte-pièce (eine feine metallene Röhre) von etwa einem Millimeter Durchmesser schon vollständig das Centrum von seinen Verbindungen isoliren — und also einen momentanen Tod, ohne vorhergehende Erstickungskrämpfe, veranlassen, hat bekanntlich Flourens später selbst zurückgenommen und dem Centrum eine Ausdehnung von mehreren Millimetern in der Querrichtung zugestanden.

Die eleganteste Art, den Legallois'schen Versuch an so blossgelegter Medulla oblongata auszuführen, besteht darin, eine runde hohle Metallröhre mit scharfen Rändern von etwa 3—4 Mm. Durchmesser in der angegebenen Stelle einzustechen und so diesen Theil schnell aus dem Zusammenhange mit der Medulla zu bringen: der Athmungsstillstand erfolgt momentan, ohne dass das Thier auch die geringste Bewegung macht. Sämmtliche Athemmuskeln werden momentan gelähmt.

Bei einiger Uebung kann man diese Operation ebenso sicher auch ohne Blosslegung der Medulla ausführen, indem man durch die Haut und Muskeln hindurch mit einem spitzen Instrument dieses Centrum durchbohrt. Am besten lässt sich der Versuch in dieser Weise bei jungen Hunden oder bei Kaninchen anstellen. Es ist dabei nicht einmal nothwendig, das Thier festzubinden; man lässt den Körper des Thieres von einem Gehilfen halten, umfasst den Kopf sammt den Ohren mit der linken Hand, wobei die Haut etwas hinaufgezogen wird, sucht mit dem Zeigefinger der rechten Hand den Occipitalhöcker und, von ihm grade in der Mittellinie bleibend, den Rand des Occipitalloches auf; darauf neigt man mit der linken Hand den Kopf des Thieres etwa, bis seine Längsachse einen rechten Winkel mit der Wirbelsäule bildet, und stösst das Instrument mit der rechten Hand ein Paar Millimeter unterhalb dieses Randes in die Medulla hinein. Hat man den Kopf keine Wendung weder nach rechts noch nach links machen lassen, dabei genau in die Mittellinie hineingestochen und auch dem Instrumente eine auf die Wirbelsäule genau senkrechte Richtung gegeben, so gelingt die Operation ebenso sicher wie bei blossgelegter Medulla.

Will man die Aenderungen der Athmung bei allmählicher Durchtrennung des Athmungscentrums auf verschiedenen Höhen verfolgen, so führt man zuerst einen Schnitt durch die blossgelegte Medulla oblongata einige Millimeter oberhalb des Athmungscentrums; man constatirt dabei zuerst, dass die vollständige Trennung des Athmungscentrums vom Grosshirn seine Thätigkeit nicht aufzuheben vermag; nur die Athemmuskeln des Gesichts, deren Nerven höher abgehen, hören auf zu functioniren. (Am leichtesten an den Nasenflügeln zu sehen.) Sodann zählt man die Athembewegungen, welche der Thorax noch in der Minute macht, und fängt nun an, Schnitte in dem Athmungscentrum etwa in ein Millimeter Entfernung von einander zu führen: die Zahl der Athmungen nimmt mit jedem

Schnitte beträchtlich ab; sie wird oft schon durch den ersten Schnitt um die Hälfte geringer und fällt bis zu zwei Athembewegungen in der Minute. Sobald aber der Schnitt die Spitze des V überschritten hat, hören die Bewegungen ganz auf.

Der Versuch gelingt zwar bei einiger Sicherheit des Operirens, auch wenn die Schnitte frei von der Hand geführt werden; man kann aber die Operation viel sicherer machen, wenn man sich dabei der auf Taf. III Fig. 5 abgebildeten Vorrichtung von Ludwig für solche Durchschneidungen des Rückenmarks bedient (siehe Cap. IV). Hat man das Instrument auf die im sechsten Capitel nachzusehende Weise über dem blossgelegten Athmungscentrum festgestellt, so sticht man nacheinander die kleinen Stilets (Fig. 6) durch seine einen Millimeter von einander entfernten Spalten *a* in die Medulla hinein und kann so den Effect dieser Durchtrennung mit Sicherheit beobachten.

Will man dagegen den Einfluss beobachten, welchen Abtragungen von Rückenmarkspartien, die unterhalb des Athmungscentrums gelegen sind, auf die Athembewegungen ausüben, so muss das Halsmark auf die im sechsten Capitel angegebene Weise in der ganzen Länge blossgelegt werden. Die für die Beobachtung belehrendsten Durchschneidungen sind die unterhalb des fünften und oberhalb des dritten Halswirbels ausgeführten. Bei der ersten Durchtrennung werden die activen Bewegungen der Rippen aufgehoben, die Athmung dauert, obgleich etwas erschwert, weiter fort, hauptsächlich durch die Contractionen des Diaphragmas unterhalten. Sobald aber das Halsmark oberhalb des dritten Wirbels durchschnitten wird, hören die Bewegungen des Diaphragmas auf und das Thier geht bald unter heftigen Athmungskrämpfen, welche sich aber nur auf die Gesichtsmuskeln und auf die Mm. sternomastoidei und cuculares beschränken, zu Grunde.

Man kann nach dem Vorgange von Legallois diesen letzteren Versuch auch ohne Eröffnung der Wirbelsäule ausführen. Guillotinirt man ein Kaninchen in der Weise, dass der Kopf unterhalb des Athmungscentrums vom Rumpfe getrennt wird[1]), — so machen die Athemmuskeln des Gesichts noch während einiger Zeit (oft bis 2 Minuten) krampfhafte Inspirationen, die zuerst häufiger einander folgen, dann aber ganz selten werden.

In dieser Form ist der Versuch für die Vorlesungen insofern noch belehrender als in der früher angegebenen, weil er anschaulicher demonstrirt, dass das Athmungscentrum ganz automatisch erregt wird, gleichgültig ob die erregten Athembewegungen von irgend welchem Erfolg für den Gaswechsel sind, oder nicht.

Um das Letztere zu zeigen, kann noch folgender interessante Versuch am Frosche gemacht werden: Exstirpirt man einem Frosche durch zwei kleine Schnitte an beiden Seiten des Sternums[2]) (etwas unterhalb der vorderen Extremitäten) die Lungen, so dauern die Athembewegungen, an den Nasenlöchern etc. sichtbar, noch ungestört weiter fort. Der Grund, warum die Athembewegungen der Gesichtsmuskeln beim auf die angegebene Weise decapitirten Warmblüter so schnell aufhören, liegt bekanntlich in der schnellen Lähmung des Athmungscentrums durch

---

1) Die Decapitation geschieht am einfachsten mit einer starken Scheere.

2) Es genügt, an den betreffenden Stellen nur die Haut und die Bauchmuskeln zu durchschneiden, damit die aufgeblasenen Lungen durch die Schnittöffnung von selbst zum Vorschein kommen und so abgebunden werden können

Mangel an O. Da bei den Fröschen, denen die Lungen exstirpirt werden, dieser Grund nicht vorhanden ist, so kann man diese Bewegungen noch stundenlang bei ihnen beobachten.

Die ungestörte Fortdauer der Athembewegungen in den Gesichtsmuskeln (Nasenflügeln etc.) bei tracheotomirten Thieren, denen künstliche Lufteinblasungen in die Lungen gemacht werden, hat aus leicht einzusehenden Gründen ganz dieselbe Bedeutung. (Bei Durchschneidung der Vagus fällt in solchen Fällen nur die rhythmische Uebereinstimmung der Nasenflügelbewegungen mit den Lufteinblasungen weg — die Bewegungen selbst bleiben aber fortbestehen. Siehe vorigen Paragraph.)

Durch Abtragung sämmtlicher Hirntheile, die in der Schädelhöhle gelegen sind, bis zur Medulla oblongata, oder (was dasselbe erreicht) durch Trennung der Medulla oblongata oberhalb des Athmungscentrums — werden dagegen die Bewegungen der Gesichtsathemmuskeln aufgehoben; die Athmung der Rumpfmuskulatur geht ungestört weiter von Statten.

Von den peripherischen Nerven, welche direct zu bei der Athmung betheiligten Muskeln sich begeben, sind für Versuche am meisten interessant die Nn. phrenici und die Nn. laryngei.

Die Nn. phrenici (aus dem 3.—5. Cervicalnerven sich bildend) findet man sehr leicht, wenn man einen kleinen Hautschnitt paralell dem Sternomastoideus, etwas nach aussen von seinem äusseren Rande, entsprechend seinem unteren Viertel, macht. Der Hautschnitt wird ganz so wie bei der Aufsuchung des letzten Halsganglions geführt, nur um 1—2 Centimeter (je nach der Grösse des Thieres) mehr nach aussen; er kann auch etwa um die Hälfte kürzer sein.

Es ist, um die Wirkung der Nn. phrenici auf das Diaphragma genauer beobachten zu können, vortheilhaft, beide Phrenici gleichzeitig zu reizen.

Um die Bewegungen des Diaphragmas zu verfolgen, muss die Bauchhöhle durch einen ausgiebigen Schnitt durch die Linea alba eröffnet und sämmtliche Eingeweide bei Seite geschoben werden. Handelt es sich um eine ganz genaue Beobachtung des ganzen Diaphragmas, so kann man den Magen an der Cardia doppelt abbinden und zwischen den Ligaturen durchschneiden, um ihn sammt dem Darmkanal dann leichter vom Diaphragma zu entfernen. Zwei Querschnitte durch die Bauchwände können die Beobachtung, besonders wenn sie von einer grösseren Anzahl von Personen gemacht werden muss, bedeutend erleichtern.

Auch die Beobachtung der Laryngeiwirkungen auf die Stimmritze bietet weiter keine Schwierigkeiten. Man kann die Bewegungen der Stimmbänder in doppelter Weise beobachten: entweder von unten oder von oben.

Handelt es sich nur darum, diese Bewegungen bei Lähmung oder Reizung der Laryngei zu verfolgen, so durchschneidet man die Trachea nahe am Kehlkopf und wendet mit Hilfe zweier Pincetten das obere Stück so nach vorne, dass man die Stimmbänder von unten zu sehen bekommt. Noch vortheilhafter ist es, dieses Stück in der normalen Lage zu lassen und die Stimmbänder durch Reflexion in einem Spiegelchen zu beobachten.

Hat man dagegen die Bewegungen der Stimmbänder während des Luft-Ein- oder Austritts zum Versuchszweck, so spaltet man die Membrana hyo-thyreoidea der Länge nach, zieht die beiden Stimmbänder auseinander und wendet den Kehlkopf

mit der oberen Oeffnung ein wenig nach vorne. Auch hier kann eine passende Anwendung von Spiegeln die Beobachtung bedeutend erleichtern.[1])

Die Auffindung der Nn. laryngei geschieht nach den im vorhergehenden Capitel angegebenen Regeln.

Die Durchschneidungen und Reizungen der peripheren Enden dieser Nerven bei Kaninchen und kleinen Hunden können nur Aufschluss über die betreffenden Stellungen der Stimmbänder geben; will man aber auf die näheren Ursachen dieser Stellungen d. h. auf die Constatirung des Muskelmechanismus eingehen, welcher diese Stellungen hervoruft, so muss man nach dem Beispiele von Longet u. A. zu grösseren Thieren (Pferden, Ochsen u. s. w.) greifen.

Wegen der bekannten Beobachtung von Legallois, dass ganz junge Thiere sofort nach Durchschneidung der Nn. laryngei inferiores an Erstickung zu Grunde gehen, ist es rathsam, auch an solchen Thieren (am besten ganz jungen Kaninchen Durchtrennungen der Laryngei inf. vorzunehmen. Man sieht dann, dass bei ihnen im Gegensatz zu erwachsenen Individuen nach Trennung dieser Nerven ein vollständiger Schluss der Stimmritze eintritt. (Bei erwachsenen bleibt der hintere Abschnitt der Stimmritze, die sogenannte Athemritze, offen.) Wie Magendie ganz richtig behauptet, kann man bei solchen jugendlichen Individuen der drohenden Erstickung vorbeugen, wenn man gleichzeitig mit den Laryngei inferiores auch die superiores durchtrennt: ein Beweis, dass der Schluss der Stimmritze wirklich durch Muskelaction und nicht (wie Longet behauptet) durch den Druck der bei der Inspiration eindringenden Luft zu Stande kommt. Daher hat die Durchschneidung der beiden Vagi oberhalb der Laryngei superiores auch bei jungen Individuen keine unmittelbare Erstickung zur Folge.

Viel lehrreicher als die Versuche über die Innervation der Muskelnerven sind diejenigen, welche die Wirkungsweise der das Athmungscentrum beherrschenden Nerven zum Gegenstand haben, des Vagus und des N. laryngeus superior.

Die Vagi werden durchschnitten, entweder um die unmittelbar darauf folgende Modification der Athembewegungen zu constatiren, oder um die secundären Störungen zu verfolgen, welche in den Athemwegen sich ausbilden: Emphysem, Lungenentzündung (Longet, Traube u. A.), und in einigen Tagen den Tod des Thieres herbeiführen.

Als unmittelbare Wirkung der Vagidurchschneidung lässt sich, auch ohne besondere Hilfsmittel, die bedeutende Abnahme der Athemfrequenz und Zunahme der Athemtiefe demonstriren. Es ist aber von hohem Interesse, für die Deutung der Wirkung des Vagus auf das Athmungscentrum den interessanten Versuch von Rosenthal zu wiederholen, nämlich die Menge der in der Zeiteinheit eingeathmeten Luft vor und nach der Durchschneidung der Vagi mit einander zu vergleichen, um zu zeigen, dass die Thätigkeit des Athmungscentrums durch diese Durchschneidung in dieser Hinsicht nicht abgenommen hat. Zu diesem Zwecke verbindet man die Trachea mittelst des W. Müller'schen Ventils mit einem Spirometer etwa in der Weise, wie es a. Fig. 2 Taf. XXVIII angegeben ist, und

[1]) Ueber Laryngoscopie bei Thieren siehe die bei Vierordt ausgeführte Untersuchung von S. Schmidt.

bestimmt die Menge der während einiger Minuten vor und nach der Durchschneidung eingeathmeten Luft.

Für das Gelingen des Versuchs ist es vortheilhaft, die zweite Messung 5—10 Minuten nach der Durchschneidung der Vagi vorzunehmen, da man gleich nach dieser Operation, ehe sich ein gewisses Gleichgewichtsverhältniss zwischen der Tiefe und der Zahl der Einathmungen hergestellt hat, häufig grössere Luftmengen erhält, als in denselben Zeiträumen vor der Durchschneidung.

Reizungen des centralen Stumpfes des Vagus, um den Stillstand der Athmung in der Inspirationsstellung zu erhalten, müssen mit ziemlich starken Strömen und zwar so tief unten am Halse als nur möglich vorgenommen werden. Der Vagusstamm muss vorher durchschnitten und durch die Luft streng von den unterliegenden Geweben isolirt werden, da sonst Stromeschleifen auf den Laryngeus superior überspringen können.

Um die Phase genau feststellen zu können, in welcher die Athmung durch diese Reizung angehalten wurde, ist es sehr zweckmässig, das Diaphragma mit irgend einer der in den vorhergehenden Paragraphen beschriebenen Vorrichtungen in Verbindung zu setzen.

Beabsichtigt man nur die Beschleunigung der Athembewegungen durch Vagusreizung zu beobachten, so genügen dazu schon viel schwächere Inductionsstösse.

Nur in äusserst seltenen Fällen wird man auf solche Thiere stossen, bei denen die Exspiration bewirkenden Fasern des Vagus das Uebergewicht erhalten und das Diaphragma in erschlafftem Zustande in Ruhe kommt.

Die Wirkung der Reizung des centralen Stumpfes vom Laryngeus sup. ist etwas schwieriger zu demonstriren, da das Stehenbleiben der Athmung bei derselben nur ein kurz anhaltendes ist; hier ist daher die Anwendung einer graphischen Vorrichtung noch wünschenswerther als bei der Vagusreizung.

Um den Laryngeus bequem reizen zu können, ist es vortheilhaft, ihn bis zu seinem Eintritt in den Kehlkopf blosszulegen und zu durchschneiden, dann den an dem centralen Stumpf hängengebliebenen Faden unter die Art. carotis zu schieben und so den Nerven, der unter diesem Gefässe liegt, oberhalb desselben hervorzuziehen. —

Die Ausführungsweise der Hering'schen Versuche mit Reizung der peripherischen Ausbreitungen der Vagi in den Lungen durch Dehnung und Compression des Lungengewebes ist in § VI beschrieben worden.

Wenn es bei Erzeugung von Apnoë gelungen ist, eine etwas längere Unterbrechung der Athmung zu erhalten, so ist es sehr lehrreich, das centrale Ende des Vagus während dieses Stillstandes zu reizen, um dessen Wirkungslosigkeit auf das Athmungscentrum darzuthun (Rosenthal).

Sämmtliche hier beschriebene Versuche an den Athmungsnerven lassen sich am besten an Kaninchen anstellen. —

Die Präparationsmethoden dieser Nerven sind in § XII Cap. II beschrieben worden. —

Nach den Angaben von Longet, Schiff und neuerdings von Bert bewirkt Reizung der peripheren Enden des Vagus Contractionen in den Muskeln der kleinen Bronchien. Longet will bei grossen Thieren (Pferden, Ochsen) das Lungengewebe direct sich zusammenziehen gesehen haben.

Wollte man diese Thatsache genauer verfolgen, so wäre es nothwendig, bei eröffneter Thoraxhöhle und zusammengefallenen Lungen solche Reizungen vorzunehmen, nachdem man vorher die Trachea mit einem Wassermanometer oder mit der Marey'schen Lufttrommel vereinigt hat. Um die Reizungen an demselben Thiere mehrmals vornehmen zu können, müsste man in den Zwischenzeiten dem Thiere künstliche Lufteinblasungen machen. —

Bibliographie zu Capitel III.

§. I. Rosenthal: Die Athembewegungen. Berlin 1863.
P. Bert: Leçons sur la Respiration. Paris 1870.
Marey: Du mouvement etc. Paris 1868.
Fick: Würzburger Laboratorium. II. Heft.
Vierordt und G. Ludwig: Arch. f. Heilkunde. 1854.
Riegel: Die Athembewegungen. Würzburg 1873.
Ludwig: Müller's Arch. 1847.
Bergeron L. A. Kastus: Gaz. hebdom. 1868. Revue méd. 1868.
E. Cyon: Pflüger's Arch. 1873.
Heidenhain: Ibid. 1872.
M. Vail David: Lancet. 1868.
§. II. Laennec: Traité de l'auscultation. Paris.
W. Müller: Wiener Sitzungsberichte. Bd. 33.
Regnault und Reiset: Ann. de chim. et de phys. 1849.
Burdon-Sanderson: Handbook etc.
Hutchinson: Med. chir. transactions. 1846.
Goodwyn: The connection of life with the respiration. London 1789.
Harless: Münchener Gel. Anzeigen. 1854.
Ludwig: Handb. d. Phys. Bd. II. p. 494.
Gréhant: Recherches physiques de la respiration. Paris 1864.
Krahmer: Haeser's Arch. 1847.
Donders: Physiol. d. Menschen. p. 401.
§. III. Lavoisier: Mem. d. l'Ac. d. Sciences. 1789—1790.
Spallanzani: Mémoires de la respiration. Genève 1803. (Uebersetzung von Senebier.)
Boussingault: Ann. de chim. et de phys. 2. série t. 71. 3. série t. 11.
Barral: Ibid. 3. série. t. 25. Statique chimique des animaux. Paris 1850.
Regnault et Reiset: l. c.
Andral et Gavarret: Ann. de chim. et de phys. 1843.
Scharling: Lieb. Annalen. 1843. Erdmann's Journ. 1845 und 1849.
Pettenkofer: Beschreibung eines n. Respirationsapparates. München.
Henneberg: Neue Beiträge zur Begründung einer ration. Fütterung der Wiederkäuer. 1870.
C. und E. Voit und J. Forster: Ueber die Bestimmung d. Wassers etc. Zeitschrift f. Biologie. 1875.
Sczelkow: Wiener Sitzungsberichte. 1862.
Kowalewsky: Arb. aus d. phys. Anst. z. Leipzig. 1866.
Sanders-Ezn: Ibid. 1867.
Schermetjewsky: Ibid. 1868.
§. IV. Magnus: Poggendorff's Annalen. 40. Bd. Heller's Arch. 1845.
Lothar Meyer: Henle's und Pfeifer's Zeitschrift. N. F.
Setschenow: Sitzungsberichte d. Wiener Ak. d. Wiss. 1859.
Sczelkow: Ibid. 1862.
Preyer: Ibid. 1864.
Ludwig: Zusammenstellung der Untersuchungen u. d. Blutgase etc. Wiener med. Jahrb. 1865.

Pflüger: Arb. aus d. phys. Anst. zu Bonn 1866. Centralbl. f. med. W. 1866. Die Kohlensäure im Blute. Bonn. 1865.
Al. Schmidt: Centralbl. f. med. Wiss. 1867. Arb. aus d. phys. Anst. z. Leipzig 1867.
Pokrowsky: Centr. f. med. Wiss. 1866.
Poggendorff: Annalen. 1. Bd. CXXIV.
Cl. Bernard: Leçons sur les subst. toxiques. 1857. Leçons sur les liquides 1859.
Gréhant: Leçons sur la respiration. Revue scientifique. 1871.
Pflüger: Ursache der Athembewegung. Pfl. Arch. 1868.
Busch: Ibidem 1869.
Jolly: Rep. d. physik. Technik v. Dr. Carl. 1866.
Cl. Bernard: Journal von Brown Séquard. 1868. Reichert's Arch. 1859.
Navrocki: Heidenhain's Studien. II. Heft.
Estor et St. Pierre: Comptes rendûs. 1868.
P. Bert: l. c.
Kirpitschoff und Schmidt: Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 165.

§. V. Bunsen: Gasometrische Methoden. Braunschweig 1857.
Regnault: l. c. und Cours élém. d. chimie.
Cl. Bernard: l. c.
Pettenkofer: l. c.
Schermetjewsky: l. c.

§. VI. Traube: Gesammelte Abhandlungen.
Hering und Breuer: Wiener Sitzungsb. 1868—69.
Rosenthal: Die Athembewegungen. Berlin 1863.
P. Bert: Recherches exp. s. l'influence de la pression barométrique. Paris 1874.

§. VII. Galen: De anat. administr. lib. VIII cap. IX. Ausgabe von Kuhn. Leipzig 1821.
Larry: Mém. d. savants étrang. (Mém. d. l'Ac. d. sc.) T. III.
Legallois: Oeuvres complètes. Paris 1830.
Flourens: Rech. exp. s. le syst. nerv. Paris 1842. Comptes rend. 1851 u. 1858.
Longet: Arch. gén. de méd. 1847. Traité d'anat. et de phys. du syst. nerv. Paris 1842.
G. Schmidt: Laryngoskopie bei Thieren. Tübingen 1873.
Magendie: Précis élélm. d. Physiol. Paris 1836.
Rosenthal: l. c.
P. Bert: Leçons s. la respiration. Paris 1873.
Schiff: Pflüger's Archiv. 1871.

VIERTES CAPITEL.

Absonderungen und Ausscheidungen.

§ 1. Versuche über die Speichelsecretion.

Die Speicheldrüsen haben ihrer oberflächlichen Lage wegen von jeher ein Lieblingsobject für das physiologische Experiment abgegeben. Unsere meisten Kenntnisse über den Mechanismus der Absonderungen verdanken wir in Folge dessen den Untersuchungen über diese Drüsen.

Es soll daher eine genauere Beschreibung sowohl ihrer anatomischen Lage, als auch der bei ihrer Untersuchung nothwendigen Handgriffe gegeben werden.

Alle drei Speicheldrüsen (die Parotis, Submaxillaris und Sublingualis) sind Gegenstand sorgfältiger experimenteller Prüfung geworden. — Als Versuchsthier wird am häufigsten der Hund für Speichelversuche verwendet; doch kommen auch Kaninchen, Schafe und Pferde zur Verwendung. Da sowohl die physiologischen Wirkungen des Speichels, als auch der genauere Absonderungsvorgang bei diesen verschiedenen Thieren nicht ganz identisch ist, so kann die Wahl des Versuchsthiers nicht als gleichgültig betrachtet werden. Besonders auffallend in dieser Hinsicht erscheinen nach Heidenhain's Untersuchungen die Unterschiede, die zwischen den Speicheldrüsen des Hundes und denen des Kaninchens bestehen. —

Alle diese Unterschiede sind aber mehr bei Prüfung der Speichelwirkungen von Belang; die Versuchsanordnungen selbst bleiben dagegen bei allen diesen Thieren fast dieselben. — Auch ist die anatomische Lagerung dieser Drüsen bei allen bis jetzt zur Anwendung gekommenen Thieren bis auf ganz unbedeutende Details ziemlich untereinander gleich.

Wird der Speichelversuch nur zur Demonstration ausgeführt, so kann man das Thier vorher mit Chloral, Chloroform oder Curare vergiften und muss bei der Anwendung des letzteren Giftes die künstliche Respiration einleiten. Will man dagegen den Versuch zu Beobachtungszwecken ausbeuten, besonders wenn es sich um das Studium zur Circulationsverhältnisse der thätigen Drüse handelt, so sind diese Gifte wegen ihrer Einflüsse auf die Circulation besser zu meiden.[1] —

Man wähle für Versuche nur kräftige frische Individuen, die einige Tage vorher gut gefüttert wurden.

---

[1] Ueber den Einfluss dieser Narcotisationen auf die Speichelsecretion s. unter Andern Cl. Bernard.

Da der Hund das am häufigsten für solche Zwecke gebrauchte Versuchsthier ist, so wollen wir die Lagerung dieser Drüsen bei ihm zuerst beschreiben und zwar von der Submaxillardrüse beginnen, der aus mehreren Gründen gewöhnlich bei Untersuchungen der Vorzug gegeben wird.

Die Glandula submaxillaris liegt in dem Winkel des Unterkiefers, vom Musculus digastricus und theilweise vom M. mylohyoideus bedeckt; ihre convexe Seite ist nach aussen dem Kiefer zu, ihre concave Seite nach innen zu gewendet. Sämmtliche Nerven und Gefässe treten in diese Drüse von der concaven Seite ein, von wo auch der Ductus Warthonianus abgeht, der sodann dicht unter dem Mylohyoideus gelegen nach vorne verläuft.

Der vordere Rand der Submaxillaris geht fast unmittelbar in die sehr schmale in die Länge gezogene Gl. sublingualis über.

Auf Taf. XV Fig. 1, 2 und 3 sind die anatomischen Beziehungen der Gl. submaxillaris und sublingualis dargestellt.

Fig. 1 zeigt die Lagerungsverhältnisse der hier in Betracht kommenden Theile nach Abtragung der Mm. digastricus und mylohyoideus; *a* ist die Submaxillaris, *b* die Sublingualis, *c* und *d* ihre Ausführungsgänge, in welche Canülen eingebunden sind; *g* ist der R. lingualis n. trigemini, der zwischen dem Masseter und dem Digastricus hervortritt; *f* die Chorda tympani, welche durch *e*, das Ganglion submaxillare, durchgeht; *mm* ist die Art. carotis ext., von derem Zweige, der Art. facialis, zwei Aestchen zur Gl. submaxillaris gehen. *o* ist die V. jugularis ext. mit dem einen Zweig, der oberhalb der Drüse verläuft (der von der Drüse kommende Zweig ist auf Fig. 1 weggeschnitten, siehe Fig. 3); — *i* ist der N. vagus und *u* der von ihm an dieser Stelle getrennte Sympathicus, von welchem der Zweig *n* zur Drüse geht; *h h* ist der durchschnittene Hypoglossus.

Fig. 3 derselben Tafel zeigt dieselben Organe bei einem Hund, durch einen Schnitt blossgelegt, wie ihn Cl. Bernard gewöhnlich bei diesen Operationen zu machen pflegt.

Der Schnitt ist vorne an der inneren Seite des Unterkiefers etwa in der Höhe des Mundwinkels begonnen und in gerader Linie, an dem Winkel des Unterkiefers vorbei, ein Paar Centimeter hinter diesem geführt worden. Der M. digastricus ist in der Mitte durchschnitten; seine vordere Hälfte *m* ist auf einem Haken hervorgehoben, seine hintere, die bis zur Drüse reicht, ist ausgeschnitten worden. Die Submaxillardrüse selbst (*g*) ist auch nach oben dem Ohre zu hervorgezogen, um ihre tiefe Fläche sichtbar zu machen. Auch der M. mylohyoideus *s*, *s'* ist durchschnitten, um den N. lingualis *z* und den Drüsengang *h* blosszulegen. Der Gang und die Lage der Gefässe und Nerven ist aus der Zeichnung klar.

Fig. 3 endlich derselben Tafel zeigt die ausgeschnittene Drüse mit ihren Gefässen und Nerven sowohl, wie den ganzen Ursprung dieser letzteren: der Chorda *c* vom Facialis *f*, des Fädchens *p* vom Ganglion cerv. sup. *q* und so weiter.

Fig. 2 auf Taf. XIV zeigt dieselben Organe beim Kaninchen. Die betreffenden Theile sind etwas aus ihrer normalen Lagerung gebracht, um den Ursprung des Hypoglossus, des Accessorius Willisii u. s. w. zeigen zu können; die Submaxillaris ist stark nach aussen gezogen, man sieht aber sowohl den Gang der Gefässe, als auch die Chorda tympani und den Anfang des Ausführungsganges.

Die Operationsweisen am Hunde, um über die Speicheldrüsen zu experimentiren, sind verschieden je nach dem Zweck des jeweiligen Versuchs. Zuerst soll das Verfahren angegeben werden, um alle Theile, welche bei solchen Versuchen überhaupt in Betracht kommen, blosszulegen, und dann einige Modificationen dieses Verfahrens beschrieben werden.

Der Hund wird auf dem Rücken befestigt und der Kopf unbeweglich mit dem im ersten Capitel beschriebenen Halter befestigt; die an den Unterkiefern anliegenden Platten *v v* (Fig. 1 Taf. VI) müssen oft weggelassen werden, da sie bei dieser Operation hindernd im Wege stehen können.

Auf der betreffenden Seite der Unterkiefer- und Halsgegend wird das Haar sorgfältig entfernt und mit einem feuchten Schwamm geglättet. Der Hautschnitt beginnt am zweiten Dritttheil des Unterkiefers, etwa einen Centimeter von ihm nach innen entfernt, und wird bis zur Höhe des Transversalfortsatzes des Atlas geführt. Das Platysma wird gleichzeitig mit der Haut durchschnitten; blutende Gefässe müssen sorgfältig unterbunden werden, wie denn überhaupt die Wunde bei der ganzen Operation höchst sauber gehalten werden muss. Der nun vorliegende Musculus digastricus (dem Unterkiefer zu gelegen) wird quer mit einer festen Schnur doppelt unterbunden und zwischen den Unterbindungsstellen durchschnitten. Es ist sehr zu empfehlen, vor dieser Unterbindung zuerst den Muskel sehr vorsichtig von den unter ihm liegenden Theilen (die Nerven: Chorda tympani, Ramus mylohyoideus und weiter nach unten die die Arterie begleitenden Fädchen des Sympathicus und der Ausführungsgang der Drüse) sorgfältig zu isoliren und dann die Schnüre so nahe als möglich seinem hinteren Ansatze an das Os temporale anzulegen. Nach der Durchschneidung wird dann fast der ganze Muskel nach vorne umgeschlagen.

Cl. Bernard zieht es dagegen vor, diese Muskeln ohne vorherige Unterbindung in der Mitte zu durchschneiden, den vorderen Theil nach oben umzuschlagen, den unteren mit einem Haken hervorzuziehen und jetzt erst ihn von den unterliegenden Theilen sorgfältig zu isoliren und dann an seinem Ursprung von Neuem abzutrennen. Etwa dabei stattfindende Blutungen werden gestillt, im Wege liegende Gefässe unterbunden. (Siehe Taf. XV Fig. 2.)

Dieses Bernard'sche Verfahren hat den Vortheil, dass man bei der Isolation des durchschnittenen Muskels viel sicherer die unterliegenden wichtigen Theile zu schonen im Stande ist; dagegen erfordert es zweimalige Durchschneidung desselben Muskels, was Blutungen unvermeidlich macht.

Ist dieser Muskel auf die eine oder andere Weise durchtrennt, so schreitet man zur queren Durchschneidung des M. mylohyoideus; dieser breite von unten und aussen nach oben und innen verlaufende dünne Muskel wird senkrecht zu seinem Faserverlauf schichtweise durchtrennt, wobei das Messer sehr leicht ohne Druck geführt werden muss, um nicht den von ihm bedeckten N. lingualis oder den Ausführungsgang zu verletzen. Die Schnittführung geschieht am besten parallel diesem Gange und etwas mehr nach innen von demselben. Ein Zurückschlagen dieses Muskels ist, wenn er nicht zu weit vom Ausführungsgange durchtrennt wurde, nicht nothwendig, da die sich retrahirenden Muskelfasern ohnedies seine Schnittenden von einander entfernen.

Man sieht nun den R. linguälis n. trigemini von der Tiefe sich nach innen und oben begeben (*g* Fig. 1 und *z* Fig. 2 Taf. XV), den Ausführungsgang durchkreuzen und dann nach vorne umbiegend dem von unten herkommenden N. hypoglossus parallel hinziehen. Der Ausführungsgang wird nach vorne von dieser Kreuzungsstelle isolirt und eine Canüle in ihn ganz auf dieselbe Weise wie in ein Blutgefäss eingeführt.

Um die Chorda tympani zu finden, braucht man nur den N. lingualis seinem Ursprunge zu nachzugehen; er liegt ganz nahe der erwähnten Kreuzungsstelle etwas tiefer und nach aussen von dem Ausführungsgange (siehe die betreffenden Abbildungen).

Um zu den Blutgefässen der Drüse zu gelangen, muss dieselbe mit einem stumpfen Haken oder mit einem gebogenen Spatel (Fig. 2 und 3 Taf. II) etwas emporgehoben und nach aussen gezogen werden. Man sieht dann von unten und innen die Art. facialis (Zweig der Carotis ext.) herkommen, die einen Ast zur Drüse schickt; die Art. facialis geht von der Carotis ext. neben der Stelle ab, wo diese letztere von dem Hypoglossus gekreuzt wird; man kann sich also im Nothfalle von diesem Nerven leiten lassen.

Etwas schwieriger ist es, den zweiten in die Gl. submaxillaris tretenden arteriellen Ast (von der Art. Temporalis) aufzufinden. Man muss, um zu ihm zu gelangen, die Submaxillardrüse im entgegengesetzten Sinne nach innen und unten hinziehen, da dieser Ast von oben und hinten von der convexen Seite der Drüse herkommt. Man braucht aber für gewöhnlich diesen Ast gar nicht.

Die V. jugularis ext. findet man nicht weit von der Drüse entfernt und sieht auch die zwei grösseren Aeste, in welche sie sich spaltet; in diese letztere ergiessen sich die zwei kleinen Venen, welche von der Drüse herkommen (*d*).

Den vom Sympathicus kommenden Nervenast findet man, wenn man den N. hypoglossus an der Stelle, wo er die Art. carotis ext. kreuzt, durchschneidet und neben dem centralen Ende dieses Nerven das Ggl. cervic. inf. aufsucht. Von diesem Ganglion geht zur Carotis ext. ein stärkerer Zweig ab, der dann Aeste abgebend, die um dieses Gefäss und seinen Zweigen entlang ein kleines Netz bilden, später die Art. facialis kreuzt und die Art. submaxillaris begleitend in die Drüse tritt.[1])

Dieses ist im Allgemeinen das Operationsverfahren, wenn man an einem und demselben Thiere alle die beschriebenen Nerven, Gefässe u. s. w. ganz frei blosslegen will, um sowohl ihre gegenseitigen Lagerungsverhältnisse übersehen, als sie dem Versuche unterwerfen zu können.

Gewöhnlich kann man aber bei Versuchen über die Speicheldrüse mit weniger ausgedehnten Verletzungen und auf viel einfachere Weise operiren.

Wenn nur der Einfluss der Chordareizung auf die Speichelabsonderung geprüft werden muss, so kann man den ersten Hautschnitt viel kürzer machen, indem man ihn an derselben Stelle wie früher beginnt, aber schon endet, noch ehe man den Unterkieferwinkel erreicht hat; der Schnitt nimmt also etwas mehr, als das

1) Durch ein Versehen beim Schneiden ist der Gang dieses Astes auf der Zeichnung Fig. 1 unrichtig dargestellt; er liegt der Arterie viel genauer an, und die an ihm sichtbare Schlinge gehört einem seiner Zweigchen.

mittlere Drittheil des Unterkieferastes ein. Sodann kann man die Durchtrennung des M. digastricus ganz vermeiden; es genügt, ihn ein wenig nach aussen gegen den Unterkiefer zu schieben. Dagegen muss der Mylohyoideus auch bei dieser Operation auf dieselbe Weise wie vorher durchschnitten werden.

Die Chorda wird, dem N. lingualis entlang gehend, wie oben aufgesucht. Die Submaxillardrüse wird bei diesem Verfahren gar nicht entblösst und behält ihre normale Lage.

Man kann die Durchtrennung des M. digastricus auch dann umgehen, wenn man zu irgend einem Zweck das von den Venen der Drüse zurückgehende Blut seiner Färbung oder der Schnelligkeit seines Strömens wegen beobachten will. Man macht dann, ausser den eben beschriebenen, noch nach Ludwig's Vorgang einen zweiten kleinen schrägen Hautschnitt unterhalb des Unterkieferwinkels nahe am unteren Rand der Drüse, legt so die Bifurcationsstelle der V. jugularis ext. bloss, unterbindet dann den nach aussen gehenden Ast *j'* nahe seiner Abgangsstelle, den Ast *j''* dagegen etwas höher, nachdem er die beiden Aestchen der Drüse schon in sich aufgenommen hat. Führt man dann eine Canüle in das periphere Ende der V. jugularis ext. ein, so erhält man Blut nur aus der Drüse; das Hellrothwerden dieses Blutes bei Reizung des Chorda kann man auch ohne vorherige Einführung einer Canüle an der Jugularis selbst beobachten.

Will man gleichzeitig auch die Wirkungen der Sympathicusreizung auf die Drüsenabsonderung untersuchen, so macht man ausser dem ersten zur Blosslegung der Chorda geführten Schnitte einen zweiten in der Halsgegend zur Blosslegung des Vagosympathicusstammes.

Man zieht dann auf die bekannte Weise diesen Nervenstamm hervor, spaltet mit einer feinen Scheere die gemeinschaftliche Scheide der beiden Nerven und isolirt sie mit einer Präparationsnadel vorsichtig von einander. Die Grenze zwischen beiden Nerven lässt sich leicht erkennen, wenn man nach Trennung der Scheide den Nervenstamm auf dem Finger etwas emporhebt. Die Führung der Präparationsnadel geschieht mit der rechten Hand, während der Nervenstamm auf der Vorderfläche des Zeigefingers der linken liegt.

Wenn ausser der Wirkung der beiden Drüsennerven auf die Absonderung noch ihr Einfluss auf die Blutströmung studirt werden soll, z. B. um ihre antagonistischen Beziehungen zu dem Lumen der kleinen Drüsenarterien zu ermitteln, so macht man ausser dem letzterwähnten Schnitt auch den für die Blosslegung der V. juguralis ext. oben angegebenen.

Man kann übrigens diese beiden letzteren Schnitte auch insofern vereinigen, als man den für die Präparation der Jugularis ext. bestimmten, anstatt schräg von oben und innen nach unten und aussen zu führen, in gerader Richtung der V. jugularis entlang macht; zieht man dann die V. jugularis (nach Unterbindung ihrer Zweige s. oben) und den M. sternomastoideus etwas noch aussen, so kann man in der Tiefe leicht das Ggl. cerv. sup. finden und den in dasselbe eintretenden Halssympathicus auf einen Faden nehmen; man hat bei diesem Verfahren noch den Vortheil, dass der Sympathicus an dieser Stelle schon vom Vagus getrennt ist. Dagegen ist eine isolirte Reizung des Sympathicus an dieser Stelle wegen der vielen hier in der Tiefe zusammentreffenden Nerven (Vagus, Accessorius, Hypoglossus u. s. w.) mit grossen Schwierigkeiten verbunden.

Wo es also auf eine solche strenge Isolation der Reizung ankommt, macht man lieber (wie es Ludwig gewöhnlich zu thun pflegt) drei gesonderte kleine Hautschnitte (je einen für die Chorda und den Sympathicus und einen dritten für die Venen der Drüse). —

Ein grösserer Hautschnitt und Durchtrennung des Digastricus ist nicht zu umgehen in folgenden Fällen: 1) Wenn an dem, übrigens nicht constant vorkommenden, Ggl. submaxillare oder an den von ihm in die Drüse tretenden Fädchen direct experimentirt werden soll; 2) wenn man den vom obersten Cervicalganglion zur Drüse abgehenden Ast direct reizen will und 3) wenn die Art. facialis oder etwa gar die Art. submaxillaris blossgelegt werden muss, entweder um Einspritzungen in die Drüse durch die Blutgefässe zu machen oder um den Druck des in die Drüse tretenden Blutes direct zu bestimmen.

Bei allen übrigen Operationen über die Gl. submaxillaris kann man ohne Durchschneidung des Digastricus zum Ziele gelangen.

Die isolirte Reizung der Chorda tympani mit den gewöhnlichen Elektroden ist wegen der Kürze und der tiefen Lage dieses Nerven nicht ganz leicht, wenn man nicht zu grosse Schnitte zu seiner Blosslegung machen will. Man muss genau nachsehen, ob während der ganzen Reizungsdauer auch der Nerv mit den Elektroden in gehörigem Contact ist und ob diese letzteren von den umliegenden Gebilden genügend isolirt sind; bei Versuchen, wo die ganze Aufmerksamkeit des Experimentatores auf die Erfolge solcher Reizungen gerichtet werden muss, ist diese Schwierigkeit der Reizung eine unangenehme Complication.

Sie lässt sich aber auf das Vortheilhafteste beseitigen, wenn man zu solchen Reizungen die für tief liegende Nervenfäden bestimmten Ludwig'sche Elektroden benutzt, die im zweiten Capitel bei der Reizung der Nn. accelerantes beschrieben wurden und die auf Taf. IV Fig. 3 und 3a abgebildet sind.

Legt man auf die schon dort angegebene Weise diese Elektroden an die Chorda an, nachdem man den N. lingualis oberhalb ihres Abgangs durchschnitten hat (die Chorda hängt alsdann noch mit dem peripheren Stumpf dieses Nerven zusammen) und verbindet sie mit den Enden der secundären Spirale eines Inductionsstromes, so kann man die Wunde schliessen und stundenlang die Chorda von Zeit zu Zeit der Reizung unterwerfen, ohne ihre Erregbarkeit zum Erlöschen zu bringen. Dies rührt sowohl daher, dass beim Gebrauch dieser Elektroden der Nerv nicht im Mindesten gezerrt wird, als auch dass er vor directem Contact mit den Dräthen durch das mit einer schwachen Kochsalzlösung getränkte Kautschukpapier geschützt ist und auf diese Weise nur von Stromeszweigen getroffen und gereizt wird.

Der Hauptvortheil dieser Ludwig'schen Reizungsweise liegt aber darin, dass man während des ganzen Versuchs der Sorge um diesen Nerven überhoben ist und seine Aufmerksamkeit ungetheilt der Versuchsergebnissen schenken kann.

Die Vortheile dieser Reizungsweise werden noch gesteigert, wenn gleichzeitig mit der Chorda auch der Sympathicus gereizt werden muss. Legt man nämlich auch an diesen Nerven ähnliche Elektroden an, so braucht man nur an den elektrischen Schlüsseln zu operiren, um die Reizungen dieser Nerven in beliebiger zeitlicher Reihenfolge geschehen zu lassen.

Um die Geschwindigkeit der Speichelabsonderung während der verschiedenen Eingriffe in die Thätigkeit der Drüse beobachten zu können, verbindet man die

in den Ductus Wirsungianus eingeführte Canüle mit einer gabelförmigen Glasröhre, etwa von der Form der in Fig. 1 Taf. XV abgebildeten *r s l*, von der man das Ende *l* während der Beobachtung anschliesst, um den Speichel nur in das verticale Rohr *s* eintreten zu lassen. Man bestimmt dann einfach die Zeit, welche vergeht, bis der Speichel einen gewissen Theil dieser cylindrischen Röhre ausfüllt.

Zu diesem Zwecke werden an dieser Röhre einige Marken am einfachsten in der Weise gemacht, dass man in gewissen Abständen Feilstriche an sie befestigt. — Das Knie der Röhre *l* dient dazu, um den Speichel aus dem Rohre *s* nach Belieben abfliessen zu lassen, um die weitere Absonderung nicht von dem Drucke der schon abgesonderten Speichelsäule beeinflussen zu lassen.

Will man die Geschwindigkeit der Speichelabsonderung auch graphisch aufzeichnen lassen, so genügt es, die Röhre *s* oben abzuschliessen, die Klemme *t* zu lösen und den aus der Röhre *l* abfliessenden Speichel in ein Wassermanometer mit leichtem Schwimmer ein Korkpfropfen mit einem Strohhalm oder Glasstäbchen einträufeln zu lassen. Damit man bei jedem neuen Eingriff in die Thätigkeit der Drüse von derselben Nullinie ausgehen kann, ist es zweckmässig, an der Kniebiegung des Manometers einen durch Kautschukröhre und Klemme abschliessbaren röhrenförmigen Ansatz zu haben, aus welchem man dann nach Belieben die eingetretene Flüssigkeit von Zeit zu Zeit abfliessen lässt.

Einen Schwimmer in der verticalen Röhre *s* anzubringen, ist darum unvortheilhaft, weil er, so leicht er auch sein mag, der Absonderung immer einen gewissen Widerstand entgegensetzen wird; und was noch störender ist, der klebrige, sich an den Kork ansetzende Speichel erschwert seine Beweglichkeit.[1])

Will man den Druck messen, unter welchem der Speichel abgesondert wird, so verfährt man nach Ludwig's Beispiele einfach so, dass man die in den Ausführungsgang eingesetzte Canüle mit einem Quecksilbermanometer vereinigt; es ist zweckmässig, schon vor der Verbindung des Manometers mit dem Speichelgang das Quecksilber auf 140—150 Mm. auf die im § IV Cap. II angegebene Weise in die Höhe zu heben. Als Verbindungsflüssigkeit benutzt man destillirtes Wasser.

Wenn einem grösseren Zuhörerkreise die Geschwindigkeit der Absonderung sichtbar gemacht werden soll, so träufelt man in die Röhre *s* einige Tropfen einer stark gefärbten Flüssigkeit ein, deren aufsteigende Bewegung sich dann leicht verfolgen lässt.

Den Druck, unter welchem das Blut in der thätigen Drüse fliesst, bestimmt man am besten durch Einsetzung einer Ludwig'schen Canüle (Taf. III Fig. 3 und 4) in die Art. carotis externa.

Die Geschwindigkeit, mit welcher das Blut in der arbeitenden Drüse bei den verschiedenen Eingriffen, wie Reizung von Nerven etc., fliesst, lässt sich am besten messen, wenn man das periphere Ende der V. jugularis ext. nach Abbindung aller Zuflüsse, mit Ausnahme der aus der Drüse kommenden, mit einem geschlossenen Glasbehälter in folgender Weise verbindet. Ein gewöhnlicher Glasflacon wird mit

---

1) In Ludwig's Lehrbuche der Physiologie Bd. II p. 342 findet sich ein Apparat abgebildet, der die Geschwindigkeit der Speichelabsonderung graphisch aufzuzeichnen gestattet, gleichzeitig aber erlaubt, aus der erhaltenen Curve das Gewicht des abgesonderten Speichels zu berechnen.

einem dreifach durchbohrten Kautschukpfropf luftdicht verschlossen; von drei Glasröhren, welche in diese Bohrungen hineinpassen, wird die eine mit der V. jugularis, die zweite mit einem Behälter, der mit doppeltkohlensaurem Natron gefüllt ist, verbunden; die dritte setzt sich in eine horizontal verlaufende Röhre fort, die frei in den Schenkel eines Wassermanometers mündet. Das Functioniren dieser Einrichtung ist sehr einfach: der Flacon wird zuerst mit kohlensaurem Natron gefüllt, dann seine Verbindung mit dem Behälter dieser Flüssigkeit durch eine Klemme unterbrochen, dagegen diejenige der Communicationsröhre mit der V. jugularis eröffnet; das nun in den Flacon eintretende Blut mischt sich mit dem kohlensauren Natron und jagt durch die dritte Röhre eine äquivalente Menge dieser Mischung hinaus, welche in das Manometer hinein träufelt; auf diese Weise wird auf einem rotirenden Cylinder die Geschwindigkeit des Blutstromes in der Drüse (in analoger Weise wie oben die Geschwindigkeit der Absonderung) verzeichnet. Auch hier ist es nothwendig, in der knieförmigen Biegung des Manometers ein Ansatzrohr zu besitzen, um von Zeit zu Zeit die eingeflossene Flüssigkeit aus dem Manometer entfernen zu können.

Es ist aus leicht einzusehendem Grunde vortheilhaft, diejenige Röhre, welche der Flacon mit der V. jugularis verbindet, bis nahe zu dem Boden dieses Gefässes reichen zu lassen, diejenige für das Manometer aber gleich bei der Durchbohrung des Pfropfes münden zu lassen.

Gerinnungen treten bei diesem Verfahren nur nach längerer Dauer des Versuchs ein; sie verlangen eine Reinigung sämmtlicher Gefässe, was am besten in der Weise geschieht, dass man aus dem höher gestellten Behälter mit kohlensaurem Natron einen Strom dieser Flüssigkeit durch den Flacon und die Verbindungsröhren hindurchströmen lässt und, nachdem alle Gerinnsel entfernt sind, sie von Neuem füllt.

Diese vortreffliche, von Ludwig getroffene Einrichtung eignet sich für diesen Zweck ganz vorzüglich und kann man den Versuch mit Unterbrechungen ein Paar Stunden fortsetzen, ehe der eintretende Blutverlust sich in einem störenden Grade bemerkbar macht. —

Zu Einspritzungen von Flüssigkeiten (Salzsäure, Chininlösungen, Curare, Atropin etc.) in die Drüse wählt man die Art. facialis oder den Ausführungsgang der Drüse selbst, je nach dem Zweck, den man mit der Einspritzung verfolgt.

Um die Temperatur des abgesonderten Speichels zu bestimmen, führt Ludwig eine T-förmige Canüle in den Drüsengang ein, die oben eine feine Seitenröhre trägt, welche zur Aufnahme des entsprechend gestalteten Thermometerendes dient.

Die nothwendigsten Versuche zur Demonstration der Thätigkeit der Submaxillardrüse sind der Reihenfolge nach:

1) Reizung der Schleimhaut der Zunge mit stark schmeckenden Substanzen, Coloquinten, Essig u. s. w., und Beobachtung der verstärkten Speichelsecretion.

2) Reizung des centralen Stumpfes des N. lingualis, den man oberhalb seiner Kreuzung mit dem Ausführungsgange unterbindet und durchschneidet.

3) Directe Reizung der Chorda tympani und Beobachtung: a) der Geschwindigkeit der Absonderung, b) des Druckes, unter dem sie geschieht, c) des Hellrothwerdens des venösen Blutes in der Jugularis und der Beschleunigung des Blutstroms (die anderen Zweige der Jugularis werden vorher unterbunden).

4. Reizung des Sympathicus und Beobachtung der entsprechenden Veränderungen dieses Factors.

5. Durchschneidung dieser beiden Nerven und Wiederholung dieser Versuche ad 1 und 2.

Um den Einfluss der blossen Blutdruckvertheilung auf die Thätigkeit der Drüse zu beobachten, kann man entweder die Aorta zuklemmen oder den centralen Stumpf des Ischiadicus reizen (Tschirieff).

Die Handgriffe für die beiden letzteren Operationen sind im Capitel II schon beschrieben.

Den Gang der Sublingualdrüse findet man neben dem der Submaxillaris etwas mehr nach aussen. Die Präparation dieses Ganges, sowie die Versuche über diese Drüse verlangen nur eine kleine Wunde; das Verfahren ist ganz dasselbe, das für die alleinige Blosslegung der Chorda tympani oben angegeben worden ist. (Siehe auch Fig. 1 Taf. XV.)

Den Ductus Stenonianus kann man auf verschiedene Weise blosslegen; die sicherste Operationsweise ist die von Cl. Bernard vorgeschlagene.

Man sucht mit dem Finger den Arcus zygomaticus auf und folgt dem Ansatz seines unteren und vorderen Fortsatzes an das Oberkieferbein. Gerade zwischen dieser Ansatzstelle und dem Vorsprunge, welchen die Alveole des zweiten Molarzahnes bildet, befindet sich eine kleine Vertiefung. Macht man an dieser Stelle einen etwas schiefen Schnitt von innen nach aussen durch die Haut, so stösst man nach Zerreissung des Unterhautzellgewebes auf die Art. und Vena facialis und einen Nerven. Der Ductus Stenonianus liegt nun tiefer als diese Gefässe, die er durchkreuzt; man erkennt ihn leicht an seiner grauweisslichen Farbe. Die Einführung einer kleinen Canüle bietet beim Hunde keine Schwierigkeiten.

Nach Bernard's Angabe muss die Canüle tief hineingeschoben werden, wenn man reinen Parotis-Speichel erhalten will, da nahe am Ausgange des Kanals sich eine kleine Drüse befindet, die ebenfalls in denselben ihr Secret ergiesst. —

Von den Nerven, welche die Thätigkeit dieser Drüse beherrschen, ist der Sympathicus in der bekannten Weise aufzufinden. Das Operationsverfahren an ihren in der Schädelhöhle liegenden Nerven, sowie an den Ggl. sphenopalatinum und oticum werden im sechsten Capitel beschrieben. Hier soll nur die Methode angegeben werden, um zum N. auriculo-temporalis zu gelangen: sie gehört Navrocki, dessen Beschreibung hier wörtlich wiedergegeben wird:

„Ich lege zuerst den M. digastricus maxillae in seiner ganzen Länge bloss, isolire diesen von den übrigen Muskeln, unterbinde doppelt um etwaiger Blutung vorzubeugen, schneide ihn zwischen den beiden Ligaturen durch, präparire ab und schlage den hinteren Theil desselben zurück. Weiter dringe ich neben dem Zungenbein bis an den Gelenkkopf des Unterkiefers; dieses geschieht am besten ohne Hülfe schneidender Instrumente; einige kleine Blutgefässe müssen mitunter unterbunden werden, um sich leichter in die Tiefe hineinarbeiten zu können; der M. pterygoideus internus namentlich sein hinterer Rand wird rein präparirt und, nachdem man vermittelst eines stumpfen Häkchens derselben emporgehoben, werden seine Fasern eine nach der anderen vorsichtig durchschnitten, bis der N. alveolaris sammt Arteria blosgelegt; beinahe rechtwinklig zu der Richtung dieser Nerven verläuft der N. auriculo-temporalis, gewöhnlich von einer Vene bedeckt; man entfernt nun

vorsichtig das Bindegewebe und hebt den N. auriculo-temporalis vermittelst eines Häkchens empor. Sobald man einen Faden unter dem Nerven durchgeführt hat, ist die weitere Isolirung und Durchschneidung desselben leicht ausführbar."

Versuche über die Absonderung des Speichels bei Schafen sind nach den für Hunde gegebenen Regeln auszuführen; das Operationsverfahren ist ganz dasselbe, nur ist es wegen der grösseren Stärke der Theile viel leichter als beim Hunde.

Dagegen ist das Operiren bei Kaninchen wegen der Kleinheit der Theile schon viel schwieriger. Die anatomische Lagerung der Organe unterscheidet sich zwar, wie Fig. 1 Taf. XIV zeigt, wenig von der beim Hunde, die nöthigen Manipulationen aber an den Ausführungsgängen und Drüsennerven verlangen grosse Uebung und Geschicklichkeit.

Der Drüsengang der Submaxillaris ist sehr fein und muss in seiner ganzen Länge blossgelegt werden, wenn eine feine Canüle in ihn eingeführt werden soll. Die Einführung selbst muss möglichst entfernt von der Drüse geschehen, da die kleinen Drüschen (Sublingualis?), welche ihn vor seinem Eintritt in die Submaxillaris begleiten, sonst mitverletzt werden können; dies wäre zwar an sich keine beträchtliche Störung, aber eine Verletzung dieser Drüschen ist immer von einer Mitverletzung der sehr feinen Chorda tympani begleitet, welche, von vielen kleinen Ganglien unterbrochen, diesen Drüsen entlang in den Hilus der Submaxillaris eintritt.

Ist die Einführung einer Canüle in den Ductus Whartonianus misslungen, so muss man sich damit begnügen, den Speichel aus dem angeschnittenen Gang ausfliessen zu sehen; um die Geschwindigkeit der Absonderung einigermaassen beurtheilen zu können, legt man Stückchen Fliesspapier unter die Ausflussmündung und beobachtet die Schnelligkeit, mit der die Imbibition desselben vor sich geht (Czermak).

Es misslingt auch nicht gar zu selten, die Chorda beim Kaninchen gut zu isoliren und zu reizen. Man kann sich nach Heidenhain's Rath bei solchem Missglücken damit helfen, dass man ihre Fäserchen sammt dem Ductus nahe an ihrer Eintrittsstelle in die Drüse reizt.

Noch schwieriger als in den Ductus Whartonianus ist die Einführung einer Canüle in den Ductus Stenonianus des Kaninchens, obgleich, wie die Versuche von Wittich es zeigen, dies auch hier nicht unmöglich ist. Angeschnitten kann dieser Kanal am besten am Masseter werden, wo er von der Art. transversa faciei und Zweigen des N. facialis umgeben ist.

Will man permanente Speichelfisteln beim Hunde anlegen, so ist es rathsam, dies durch Einführung kurzer, an den Enden mit Anschwellungen versehener Canülen zu bewerkstelligen. Bei dem Schiff'schen Verfahren, den blossgelegten und abgeschnittenen Kanal durch ein paar Näthe in die Wunde zu fixiren, erhält man erstens keinen reinen Speichel, da derselbe besonders in der ersten Zeit mit den Entzündungsproducten leicht vermengt wird, und zweitens retrahirt sich der Gang sehr häufig in die Wunde, wobei der Speichel noch sämmtliche den Gang umgebenden Gewebe durchtränkt. Hat man dagegen eine kleine Canüle eingeführt, die man in der Zwischenzeit beliebig mit kleinen Wachskügelchen abschliessen kann, so kann man zu jeder Zeit reinen Speichel erhalten.

Die Einführung der Canülen in die Ducti Whartonianus und Stenonianus geschieht auf die schon beschriebene Weise. Die Hautschnitte müssen dabei so klein als möglich gemacht werden; die eingeführte Canüle wird an den sorgfältig zugenähten Wundrändern befestigt.

Man kann auch beim Menschen mit Leichtigkeit feine Canülen in die Mündungen der Parotis und der Submaxillaris einführen.

Man benutzt dazu am besten feine ausgezogene Glascanülen mit abgeglätteten Rändern.

Den Ausführungsgang der Parotis findet man an der inneren Wand der Wange, gegenüber dem zweiten Molarzahn des Oberkiefers. Die Mündung des Ductus Whartonianus liegt unterhalb der Zunge neben dem Frenulum. Um die kleinen Erhebungen, in welchen diese Mündungen liegen, leichter zu Gesicht zu bekommen, genügt es, die Mundschleimhaut durch etwas Atherdämpfe zu reizen, und so eine profuse Speichelsecretion zu veranlassen. —

§ 11. Anlegung von Fisteln.

Zur Anlegung von Fisteln werden fast ausschliesslich Hunde benutzt, obgleich man nicht ohne Erfolg versucht hat, Magenfisteln auch an Wiederkäuern (Flourens) und an Vögeln (Cl. Bernard) anzulegen. Von diesen letzteren sollen Raben die Operation sehr gut vertragen.

Von Hunden wählt man am besten starke, nicht zu alte männliche Individuen, die ein geringes Fettpolster besitzen. Während der Anlegung von Fisteln ist die Narkose des Thieres mit Chloroform oder Chloral nicht zu vermeiden, sowohl der sehr grossen Schmerzhaftigkeit dieser Operationen wegen, als auch um, soweit es möglich, von den Bewegungen des Thieres bei der Ausführung der meistens schwierigen Operationen nicht gestört zu werden.

A. Anlegung von Magenfisteln.

Die Thiere werden, nachdem sie 24 Stunden gehungert haben, $^1/_2$ Stunde vor der Operation stark gefüttert, damit der mit Speisen gefüllte Magen prall der Bauchwand in grösserer Ausdehnung anliegt. Das Thier wird in der Rückenlage mit einiger Neigung nach rechts befestigt und sodann narkotisirt.

Die Anlegung der Fistel kann in verschiedener Weise ausgeführt werden. Wir wollen hier zuerst diejenige Ausführungsweise mittheilen, welche von Cl. Bernard angegeben worden, und jetzt die am häufigsten geübte ist. —

Der Schnitt durch die Bauchwandung wird etwa 3 Finger breit [1]) von der Linea alba nach links entfernt und dieser fast parallel gegen 3 Centimeter unterhalb des Processus xiphoideus geführt.

Nachdem die Haut in einer Länge von 2—3 Centimetern durchschnitten wurde und etwaige Blutungen gestillt worden sind, wird zur schichtweisen Trennung der Bauchmuskulatur geschritten; diese Trennung kann ohne grössere Verletzungen der Muskulatur geschehen, wenn man die Vorsicht gebraucht, die Muskelfasern ihrem Verlaufe nach mit der Präparirnadel nur auseinanderzudrängen; nicht nur

1) Es ist vortheilhafter, den Schnitt nicht gerade am äusseren Rande des linken M. rectus abdom. zu machen, wie es Bernard vorschlägt, sondern etwas mehr nach aussen von diesem Rande; man erreicht dadurch, dass auch die innere Wundlippe nicht zu dick wird.

wird dadurch die Wunde viel sauberer und heilt besser, sondern man erhält dabei, Dank dem gekreuzten Verlauf der Fasern in den verschiedenen Muskelschichten, bei ihrem Bestreben ihre normale Lage einzunehmen, auch einen viel engeren Verschluss der Wunde.

Auch die in den Muskelschichten gemachte Oeffnung darf nicht mehr als zwei Centimeter in der Länge haben. Hat man das Peritoneum gespaltet, so liegt die Magenwand vor. Man erfasst dieselbe mit einer starken Schieberpincette [1]), hebt sie etwas aus der Wunde heraus und übergiebt sie einem Gehilfen. Sodann zieht man einen, mit zwei krummen Nadeln an seinen beiden Enden versehenen Faden durch 3—5 Stiche in die Magenwand um diese mit der Pincette erfasste Stelle herum; der Faden wird dabei in der Weise angelegt, wie es in den gewöhnlichen Tabaksbeuteln zu geschehen pflegt. In dem von diesem Faden gebildeten Kreise wird ein kleiner Einschnitt (neben der Pincette) mit einem schmalen Bistouri gemacht, die beiden Winkel der Wunde werden dann von dem Assistenten mit zwei Haken (etwa von der Form der in Fig. 5 Taf. II dargestellten) auseinandergehalten, nachdem die Schieberpincette entfernt worden ist. Die Magencanüle wird dann vorsichtig in die Magenöffnung hineingedrängt.

Der Schnitt muss immer kleiner sein, als der hervortretende Rand der einzuführenden Canüle, damit sich die Wandränder eng um die Röhre selbst anschliessen und so ihr Ausgleiten verhindern. Jetzt wird der in der Magenwand durchgezogene Faden oberhalb des inneren Randes der Canüle zusammengezogen und durch einen doppelten Knoten befestigt; die freien mit Nadeln versehenen Enden dieses Fadens dienen noch dazu, um durch ein paar Stiche die Magenwand an die Bauchwandungen zu befestigen und dann die Wunde dieser letzteren zu schliessen.

Um bei dieser letzteren Operation neue Stiche durch die Magenwand zu umgehen, verfahre ich folgendermaassen: ich führe die Enden des Fadens nicht mehr durch die Magenwand und die Bauchwandung, sondern durch die zwischen den Stichen in der Magenwand liegenden Schlingen des Fadens und die Bauchwandung. So wird ein genaues Anliegen des Magens an die Bauchwand erzielt, und gleichzeitig hat man die Magenwand mit neuer Verletzung verschont.

Nachdem die Bauchwandungen genau um die Canüle herum geschlossen sind, wird die Wunde mit einem Schwamm und frischem Wasser gereinigt, der Hund abgebunden und sich selbst bis zum Erwachen überlassen. Die Canüle muss dabei offen gelassen werden, da sonst das nach dem Erwachen eintretende Erbrechen leicht Speisestücke zwischen Magenwand und Bauchwandung durchdrängen und so eine heftige Peritonitis erzeugen kann. Bei offener Canüle geht beim Erbrechen ein Theil des Mageninhalts durch dieselbe hindurch.

Ist das Thier erwacht, das Erbrechen beendet, so schliesst man die Oeffnung mit einem Korke fest zu. Damit der Hund nicht mit den Zähnen den Kork herausreisst oder unbeobachtet an der Wunde zerrt, ist es nöthig, den Kork mit Coloquinten oder Phosphorsäure zu durchtränken. Man kann auch für die ersten Paar Tage nach der Operation den Kork bis zu den Rändern der Canüle abschneiden.

1) Es ist viel schonender für die Magenwand, wenn die Pincette nur glatte Wände ohne Zähne besitzt.

Nur selten wird man gezwungen, den Kopf des Hundes durch einen Halsband so zu fixiren, dass er nicht zu der Wunde gelangen kann.

Die Wunde muss besonders die ersten Paar Tage mehrmals untersucht und mit kaltem Wasser gereinigt werden; etwa gelöste Wundränder näht man von Neuem zu; sind die Wundränder stark angeschwollen, so muss die Canüle durch Aufeinanderschrauben verlängert werden (s. u.).

Meistens sind die Hunde schon den nächsten Tag ganz munter, fressen gerne und nach einigen Tagen sind sie für Versuche gut verwendbar. Monate, ja Jahre lang bleiben die Hunde mit sorgfältig angelegten Magenfisteln am Leben; ihre Ernährung geht gut von Statten und lassen sie keine durch den gemachten Eingriff etwa entstandenen Störungen erkennen.

Eine auf diese Art angelegte Magenfistel dient vorzüglich zur Gewinnung von frischem natürlichen Magensaft. Auch kann man durch dieselbe kleinere Nahrungstücke in Tüllsäckchen in den Magen einführen, um ihre Veränderungen unter dem Einflusse des Saftes zu studiren. — Will man Versuche letzterer Art aber im grösseren Maassstabe machen oder auch die thätige Schleimhaut des Magens direct beobachten, so sind die nach Bernard's Methode angelegten Fisteln zu klein.

Schiff legt für solche Fälle eine Fistel an, die eine viel grössere Oeffnung in der Magenwand freilässt und ausserdem noch durch die besondere Construction der einzuführenden Canüle es gestattet, dieselbe zeitweise während der Beobachtung zu entfernen und dann von Neuem anzulegen.

Die von Bernard benutzte Canüle (Fig. 8 Taf. VI) besteht aus einem silbernen Röhrchen, das an beiden Enden breite Ränder *a* und *b* besitzt. Man kann die Länge des Röhrchens variiren dadurch, dass sie aus zwei Hälften besteht (s. Fig.), die man beliebig tief ineinanderschrauben kann. Der Rand *a* wird in den Magen eingeführt, der Rand *b* an die äusseren Wundlippen adaptirt; an der inneren Wand der Canüle sind zwei Vorsprünge angebracht, die es gestatten, mit Hilfe eines sie erfassenden Schlüssels die beiden Theile der Röhre in- oder auseinander zu schrauben.

Die von Schiff für grössere Magenfisteln benutzte Canüle ist nach der Angabe von Bardeleben construirt. Ausser ihrem grösseren Durchmesser unterscheidet sie sich von der eben beschriebenen dadurch, dass sie keinen inneren Rand besitzt; dieser ist durch zwei rechtwinklig abgehende Forsätze ersetzt, welche in der Wand der Canüle derart angebracht sind, dass sie erst nach Einführung derselben in den Magen aus der Wand herausgeschoben und an die innere Magenwandung angelegt werden. Durch einen festen Korkpfropfen werden sie in der ihnen gegebenen Stellung erhalten; entfernt man daher denselben, so gleiten die Fortsätze ab und die Canüle fällt heraus.

Diese Canüle hat manche Nachtheile, so z. B. ist ihr Halt durch die beiden Fortsätze bei weitem nicht solide genug und gleitet die Magenwand sehr leicht bei stärkeren Magenbewegungen von ihnen ab; dies um so eher, als man nach Anlegung dieser Fistel sofort die Oeffnung durch einen Korkpfropfen verschliessen muss, damit die Fortsätze ihre Stellung behalten können: das eintretende Erbrechen genügt daher schon manchmal, um die Canüle zu deplaciren und ihr jeden Halt zu nehmen. Die Unmöglichkeit, die Canüle in der Wunde zu behalten, ohne

dass ihre Mündung verschlossen bleibt, ist auch sonst in einigen Beziehungen sehr unvortheilhaft.

Es wäre daher besser, für solche Fälle Canülen nach dem Modell der Bernard'schen construiren zu lassen, aber von grösserem Durchmesser und mit der Abänderung, dass sie in ihrer Längsrichtung aus zwei oder sogar drei Theilen beständen, die durch das Anschrauben eines Hütchens, das auch den äusseren Rand trüge, zusammengehalten werden könnten. Es würde das Abschrauben dieses Hütchens genügen, um die Canüle durch eine relativ kleine Magenöffnung sowohl einzulegen, als auch herauszunehmen.

Beim Anlegen solcher grösseren Canülen schlägt Schiff vor, die Operation nach der ursprünglichen von Blondlot geübten Weise in zwei Absätze einzutheilen. Zuerst soll durch die gemachte Bauchwunde eine Magenschlinge hervorgezogen, ein silberner Drath um diese Schlinge zusammengedreht und dann mittelst dieses Drathes der Magen an die Bauchwand fixirt werden. Während einiger Tage wird der Drath immer fester zusammengeschnürt, bis nach 6—8 Tagen das abgeschnürte Stück der Magenwand abgestorben ist; währenddem ist aber auch die Magenwand an der betreffenden Stelle an der Bauchwand angewachsen. Dann wird zum zweiten Theil der Operation geschritten: Abtragung des abgestorbenen Stücks, Einführung und Befestigung der Canüle.

Dieses Eintheilen der Operation in zwei Tempos bietet gar keine Vortheile, ist dagegen mit mehreren Nachtheilen verbunden; besonders ist es schwierig, in der entzündeten Wunde die Canüle sorgfältig und sauber zu fixiren.

Es ist daher besser, auch bei Einführung grösserer Canülen ganz auf die oben beschriebene Weise zu operiren. Macht man den Schnitt nicht in der Linea alba, sondern an der oben angegebenen Stelle und wählt man für die Operation magere männliche Individuen, so vertragen die Thiere auch grössere Oeffnung in dem Magen (3—4 Ctm.) bei sorgfältig ausgeführter Operation ohne Schaden.

So kann man die auf Fig. 7 Taf. VI abgebildete Ludwig'sche Canüle, welche mehr als doppelt so weit ist, wie die Bernard'sche, ganz in der beschriebenen Weise in den Magen einführen, ohne dass die Resultate der Operation sich irgendwie ungünstiger gestalten, als bei der Verwendung kleinerer Canülen. Die Ludwig'sche Canüle gestattet übrigens, Dank ihren Dimensionen, auch grössere Speisestücke direct in den Magen zu führen, um ihre Veränderungen zu studiren, ohne dass es nothwendig wäre, vorerst die Canüle zu entfernen.

Die Einrichtung des Schlüssels zum Auseinanderschrauben der beiden Hälften dieser Canüle ist hier etwas verschieden von der Bernard'schen. Die zwei hohlen Vorsprünge *h* und *h'*, welche der Rand *a* besitzt, nehmen in sich zwei rechtwinklig gebogene Platten *f* und *o* auf, deren freie Enden *e* mit Schraubenwindungen versehen sind; der Schüssel *n i* wird nun auf diese beiden Enden aufgeschraubt, wodurch das Ausgleiten von *f* und *o* aus *h'* und *h* unmöglich gemacht wird. Durch Drehungen dieses Schlüssels wird die Röhre *c* in *d* hinein- oder aus derselben herausgeschraubt.

Das Sammeln des Magensaftes geschieht bei einem Hunde, der mehrere Stunden gehungert hat. Es ist dabei am geeignetsten, den Hund in stehende Stellung zu bringen und ihn dabei mittelst einer der am Schlusse dieses Paragraphen beschriebenen ähnlichen Vorrichtung zu fixiren.

Um eine lebhafte Magendrüsensecretion zu bewirken, wendet man entweder directe Reizung der Magenschleimhaut durch mechanische Berührung mit einem Glasstabe oder einer Federspuhle, Einspritzung von kaltem Wasser u. s. w. an, oder man führt dem Hunde scharf schmeckende Substanzen in die Mundhöhle hinein.

Es genügt übrigens, dem hungernden Hunde Speisestücke vorzuzeigen, um zu demselben Ziele zu gelangen.

B. Anlegung von Darmfisteln.

Die Anlegung einer temporären Darmfistel, die nur den Zweck hat, während einiger Stunden bei einem Thiere die Darmsecrete oder ein Theil der verdauten Speisen aufzufangen, oder endlich Speisestücke in abgebundene Theile des Darms hineinzubringen, um die Veränderungen, welche sie unter dem Einfluss der Darmsäfte erleiden, zu studiren — bietet weiter keine Schwierigkeiten. Durch einen Schnitt in der Linea alba und Beiseiteschieben oder vorsichtige Spaltung des Netzes kann man eine beliebige Darmschlinge aus der Wunde herausholen und zu dem beabsichtigten Zwecke verwenden. Das Mesenterium muss dabei sorgfältig geschont und soweit als möglich vor Zerrung, Vertrocknen u. s. w. geschützt werden.

Viel schwieriger ist es, eine permanente Darmfistel anzulegen. Die Möglichkeit, solche Fisteln zu erhalten, ist durch das sinnreiche Operationsverfahren von Thiry zum ersten Mal gegeben. In der Beschreibung dieses Verfahrens wird daher fast ausschliesslich Thiry's Angaben gefolgt.

Wie für Magenfisteln, so wählt man auch für Darmfisteln am besten Hunde, und zwar vorzugsweise jüngere männliche Individuen, die so wenig als möglich Fettpolster an den Bauchwandungen besitzen. Den Thieren wird 24 Stunden vor der Operation jede Nahrung entzogen und wenn noch eine Darmfüllung bei ihnen zu vermuthen ist, durch irgend ein Drasticum (am besten Calomel) dieselbe beseitigt. Die Narkotisation des Thieres ist zwar nicht durchaus nothwendig, erleichtert aber die Ausführung der Operation.

Der Schnitt wird in der Linea alba in der Mitte zwischen Symphyse und Processus xiphoideus in der Ausdehnung von etwa 2—3 Centimetern gemacht; zwei Finger müssen in die Oeffnung ohne Schwierigkeit hineinkommen können; am besten in der Weise, dass zuerst eine kleine Oeffnung in der Bauchwandung gemacht, sodann eine Hohlsonde hineingeführt wird, an welcher die weitere Schnittführung geschieht; bei einem solchen Verfahren wird das Omentum am sichersten geschont.

Das vorliegende Omentum wird an blutleeren Stellen gespalten, bei Seite geschoben und eine Darmschlinge ohne Zerrung des Mesenteriums herausgezogen. Mit einer Scheere wird das Darmstück vollständig durchschnitten und das eine Schnittende mit der gekreuzten Darmnath verschlossen.

Die Methode, diese Nath anzulegen, ist schon im § X Cap. I Seite 47 beschrieben worden; auf Taf. VI zeigt Fig. 14 den Querschnitt eines Darmstückes mit so angelegter Nath.

Während nun das andere Schnittende durch einen Haken oder eine Fadenschlinge in der Bauchwunde festgehalten wird, zieht man von dem Darmstücke mit zugenähtem Ende noch ein grösseres oder kleineres Stück hervor (je nach dem Zwecke des Versuchs) und durchschneidet es nochmals mit Schonung des

Mesenteriums. Man erhält so ein aus dem Zusammenhange mit dem Darmkanale isolirtes Darmstück, das zu einem Blindsacke umgestaltet worden ist.

Während Thiry es für den Erfolg für gleichgültig hält, welches Stück des Dünndarms man zur Operation wählt, und welches Schnittende man zunäht, zieht Paschutin vor, das Duodenum oder den Beginn des Jejunums zur Fistel zu benutzen und das obere Ende des isolirten Darmstücks zu verschliessen. Dies erschwert nicht nur die Operation ganz bedeutend, sondern es macht auch den Erfolg derselben zweifelhafter, da das lange Manipuliren an dem Darme — um zu entscheiden, welches das obere, welches das untere Ende ist — viel leichter das Absterben des Cul-de-sac und tödtliche Peritonealentzündungen veranlasst.

Paschutin macht nämlich den ersten Schnitt am Duodenum, einige Centimeter unterhalb des Eintritts des Pankreasganges; da die Kürze des Mesenteriums an dieser Stelle es nicht gestattet, durch allmähliches Nachfolgen am Jejunum die Stelle für den zweiten Schnitt zu finden, so hilft sich Paschutin durch folgenden Kunstgriff: er bindet das untere Schnittende ab und spritzt mittelst einer feinen durch die Ligatur hineingesteckten Spritze eine schwache Kochsalzlösung in den Darm ein, während er mit den Fingern einige Schlingen des hervorgezogenen Dünndarms verschliesst; bei der Anfüllung der Schlingen kann man dann entscheiden, welche Theile die oberen, welche die unteren sind.[1])

Es ist vortheilhafter, alle diese schädlichen Eingriffe bei der Anlegung der Darmfistel zu vermeiden, und dies um so eher, als die Vortheile des Schliessens des Blindsacks an seinem unteren Ende ziemlich problematisch sind. Ganz zu verwerfen ist die vorherige doppelte Unterbindung des Darms vor seiner Durchschneidung: es werden die Schnittenden des Darmes dadurch nur unnütz misshandelt.

Das auf die beschriebene Weise geschlossene Darmstück wird nun zurück in die Bauchwunde gebracht und zwar mit dem geschlossenen Ende voran; indem man sein offenes Ende festhalten lässt, schreitet man zur Vereinigung der beiden freien Schnittenden des Darmes aneinander. Diese schwierige Nathanlegung geschieht nach den im ersten Capitel (S. 47 u. 48) gegebenen Regeln und muss sehr sorgfältig ausgeführt werden. Durch Vereinigung dieser beiden Schnittenden, von denen das eine mit dem Magen, das andere mit dem Dickdarme communicirt, wird die Continuität des Darmrohres wiederhergestellt. Das so zusammengenähte Darmstück wird nun in die Bauchhöhle reponirt, wo es meistens schon durch das Mesenterium selbst nahe der Bauchwunde festgehalten wird. Ist das Letztere nicht der Fall, so muss man mit ein paar Fadenschlingen dieses Darmstück in der Nähe der Wunde fixiren. Dies hat zum Zweck, sowohl die etwa eintretende Entzündung auf einen circumscripten Theil zu beschränken, als auch dem möglicherweise durch die nicht ganz genau schliessenden Näthe hervorsickernden Darmsecret etc. einen freien Ausweg durch die Wunde zu bieten.

---

1) Man könnte diese Entscheidung auch einfacher so treffen, dass man den Dünndarm ohne Weiteres an einer tieferen Stelle durchschneidet und durch das früher gemachte Schnittende Flüssigkeit in den Darm spritzt, während man die neuen Schnittenden etwas herausgehoben hat.

Ehe die freie Mündung des gebildeten Blindsacks an die Bauchwunde fixirt wird, ist es von Wichtigkeit, noch folgende von Thiry angegebene Vorsichtsmaassregel zu ergreifen. Um dem sich leicht bildenden Prolapsus des Darmstücks durch diese Mündung vorzubeugen, wird das letztere künstlich verengert. Zu diesem Behufe spaltet man das freie Ende des Blindsacks in einer Länge von etwa 3 Ctm. und vereinigt die beiden Schnittränder durch Nähte in der Weise, dass am Scheitel des Wundwinkels die Stiche nahe den Rändern gefasst werden; sich der Mündung nähernd, entfernt man dann die Stiche allmählich von denselben. Dadurch erhält das offene Ende des Blindsacks eine trichterförmige Verengerung, die aber weder den Austritt des Saftes, noch die Einführung von Instrumenten irgendwie hindert.

Das Annähen dieses Endes an die Bauchwunde geschieht erst, nachdem diese bis zu einer ganz kleinen Oeffnung geschlossen ist; dadurch wird ein Auseinanderzerren der Fistelöffnung verhindert, die den Nutzen der gemachten Verengerung aufheben würde.

Die Hunde bleiben meistens bei sorgfältiger Ausführung der Operation am Leben; die ersten Paar Tage muss die Wunde genau überwacht und rein gehalten werden; Nahrung kann man dem Hunde erst nach 3—4 Tagen geben. Hat sich eine kleine Kothfistel ausgebildet, so heilt sie gewöhnlich in ein paar Wochen wieder zu. Dagegen vereitelt ein sich bildender Prolapsus des Blindsacks vollständig den Zweck der Operation.

Die angelegte Darmfistel kann meistens nach 14 Tagen schon zu Versuchen benutzt werden, da die Heilung um diese Zeit bei günstigem Verlaufe schon beendet ist. Die Fistelöffnung hat nach beendeter Heilung etwa die Weite eines Gänsekiels.

Zum Auffangen des Darmsaftes wird das Thier in das am Schlusse dieses Paragraphen beschriebene Gestell gebracht; vor der Mündung wird auf die aus der Zeichnung (Fig. 7 Taf. XXVI, verständliche Weise ein Glasköl̈bchen oder Probirröhrchen mit Trichter befestigt. Um die Absonderung des Saftes hervorzurufen, genügt es, die Schleimhaut des Darms auf irgend eine Weise mechanisch zu reizen.

Diese Reizung kann bequem durch Einführung von kleinen Schwämmchen[1]) bis zum blinden Ende des Darmstücks geschehen, wozu man sich weicher elastischer Katheter bedienen kann. Um das Entfernen der Schwämmchen durch die peristaltischen Bewegungen zu verhüten, werden diese Katheter mit in dem Blindsack gelassen. —

Um den Einfluss der Gefässnervendurchschneidung auf die Darmabsonderung zu beobachten, verfährt man nach Armand Moreau's Angaben folgendermaassen: Durch einen Schnitt in der Linea alba werden zwei benachbarte Darmschlingen hervorgeholt und jede an beiden Enden durch feste Ligaturen abgebunden. Bei der einen Schlinge durchschneidet man sämmtliche in dem ihr zugehörigen Mesenterialstücke verlaufenden Nerven, mit möglichster Schonung der sie begleitenden

---

1) Soll der von den Schwämmen aufgesaugte Darmsaft auf seine chemischen Eigenschaften geprüft werden, so ist nothwendig, sie vorher successive mit Salzsäure, Alkohol, Aether und kochendem Wasser zu behandeln.

Gefässe, reponirt dann die Darmstücke in die Bauchhöhle und schliesst die Wunde Tödtet man das Thier 5—6 Stunden nach dieser Operation und untersucht die abgebundenen Schlingen, so findet man die mit durchschnittenen Nerven stark durch angehäufte Darmflüssigkeit ausgedehnt.

Auch die zu diesen Versuchen benutzten Hunde müssen 24 Stunden vor der Operation hungern. Da die Durchschneidung der Nerven mit gewöhnlichen Scheeren leicht zu Verletzungen der Blutgefässe führen kann, so bedient sich Moreau zu dieser Operation der auf Taf. III Fig. 14 abgebildeten Instrumente (Séccateur).

Das mit abgerundeter Spitze versehene Instrument wird geschlossen unter den Nerven geführt, und wenn derselbe ganz isolirt auf ihm liegt, wird es geöffnet und der Nerv durchtrennt. —

C. Anlegung von Pankreasfisteln.

Pankreasfisteln können in doppelter Weise angelegt werden: entweder als temporäre, welche von mehreren Stunden bis zu zwei Tagen den Pankreassaft zu sammeln gestatten, oder permanente, die Wochen und Monate lang dasselbe leisten.

Da der Pankreassaft durch krankhafte Processe in dieser Drüse, welche nach der Operation sich nicht selten ausbilden, in seinen verdauenden Kräften leicht alterirt werden könnte, so glaubte man einige Zeit, permanente Fisteln lieferten einen Saft, der nicht alle verdauenden Eigenschaften des normalen Pankreassaftes besitzt.

Die bei Ludwig ausgeführte Untersuchung von Bernstein zeigt aber, dass auch eine permanente Fistel bei günstigem Verlauf ein Secret liefert, das sämmtliche Pankreasfermete in sich trägt. Ja die aus den neueren Untersuchungen (Bernstein, Landau u. A.) hervorgegangene Möglichkeit, die Absonderung einer permanenten Fistel vom Nervensysteme aus zu beeinflussen, während dies bei temporären nicht gelingen wollte, spricht sogar im hohen Grade dafür, dass die Absonderung bei der ersteren unter normaleren Umständen geschieht als bei der letzteren.

Zur Anlegung einer temporären Pankreasfistel wählt man nach Cl. Bernard's Vorschrift am besten grössere Schäfer- oder Hofhunde; Jagdhunde sollen dazu weniger tauglich sein. Für permanente Fisteln wählt man nach Ludwig am besten kleinere Hunde wegen der leichteren Zugänglichkeit des Ausführungskanals des Pankreas von der Linea alba aus.

Die Ausführung der für diese Fisteln erforderlichen Operation gehört nicht zu den leichteren und verlangt sowohl genaue Kenntniss der anatomischen Verhältnisse der betreffenden Theile, als auch eine gewisse Sicherheit im Operiren.

Auf Taf. XXXIV zeigen die Figuren 2 und 3 die Pankreasdrüse des Hundes in ihrer Verbindung mit dem Duodenum [1]). *P P* ist das Pankreas, *S* die Portio pylorica des Magens, *a* der Pylorus (Fig. 2), *e* ist der kleine pankreatische Gang, *h* seine Mündung im Duodenum nahe an der Mündung *g* des Ductus choledochus; *c c'* ist der grosse pankreatische Gang, in den viele kleinere Gänge *l*, *l' l''* sich

1) Die Zeichnungen sind Cl. Bernard entnommen.

ergiessen; *i* seine Mündung. Dieser letztere Gang ist derjenige, welcher zur Bildung von Fisteln benutzt wird.

Das Verfahren von Cl. Bernard zur Anlegung einer temporären Fistel besteht in Folgendem:

Der Hund wird auf der linken Seite befestigt und im rechten Hypochondrium unterhalb des Randes der letzten falschen Rippe ein 7—8 Centimeter langer Hautschnitt gemacht, die Blutung gestillt und darauf die Bauchwandungen in der schon bekannten Weise durchschnitten. Das vorliegende Duodenum nebst Pankreas wird hervorgezogen, der grössere Pankreasgang (etwa 2 Centimeter unterhalb des Ductus choledochus gelegen) hervorgesucht und zwei Fäden unter denselben geführt. Das Auffinden des Kanals bietet einige Schwierigkeiten, wenn man ihn noch nie bei einem lebenden Thiere gesehen, weil er nur sehr kurz und zwischen den zahlreichen Gefässen liegt, welche die Grenze zwischen Pankreas und Duodenum überbrücken. Um sich dieses Auffinden, besonders aber das Unterführen von Fäden ohne Verletzung der kleinen Blutgefässe zu erleichtern, greife man zu folgendem Handgriffe: Bei dieser Operationsweise hebe man bei Beginn der Operation das Duodenum nebst Pankreas mit der linken Hand heraus, indem man diese Hand, mit der Volarfläche nach oben gerichtet, von links (vom Thiere aus) zuerst unter das Duodenum und dann unter das Pankreas schiebt; auf diese Weise bekommt man die vordere Fläche dieser beiden Theile zu Gesicht, an welcher der Ductus pancreaticus, nur von wenigen Gefässen bedeckt, mit Leichtigkeit an seiner grauweisslichen Färbung in der unteren Grenze des Winkels, welche die beiden Pankreasschenkel bilden, zu erkennen ist. Aus einzusehendem Grunde kann man dagegen, wenn man mit der rechten Hand diese Theile hervorholt, leicht ihre hintere Fläche erhalten, was ausser der unvermeidlichen Zerrung des Pankreas noch den Uebelstand nach sich zieht, dass man den Gang zwischen Gefässen versteckt aufsuchen und unterbinden muss.

Die Einführung der Canüle geschieht auf die bekannte Weise in das pankreatische Ende des Ganges; die Verlängerung dieser Canüle wird mit ein Paar Näthen an das Duodenum und dann an die Bauchwände befestigt; die Wunde wird geschlossen, nachdem man das freie Ende der Canüle mit einer Kautschukblase zur Ansammlung des Secrets verbunden hat. (Siehe Fig. 3 Taf. XXXIV.)

Diese Blase (*V*) darf mit der Canüle nur in zusammengefallenem Zustande verbunden werden; ihre zweite Oeffnung ist mit einem Hahne (*R*) versehen.

Als Canüle kann man die gleichweiten neusilbernen Röhrchen von Bernard benutzen, die an ihren Enden mit Einschnitten zur Befestigung der Fäden versehen sind.

Diese Canülen gleiten aber oft sehr bald aus dem Gang heraus; es ist daher vortheilhafter, solche zu verwenden, die mit kleiner Anschwellung am Ende versehen sind. Noch geeigneter wäre es, kleine T-förmige Canülen zu verwenden und sie in der Weise einzuführen, dass das eine Ende dem Duodenum, das zweite dem Pankreas zugewendet würde (das erstere müsste selbstverständlich blind sein). Dies würde ausser der grösseren Haltbarkeit noch den Vorzug bieten, dass bei deren Befestigung an die Bauchwand jede Zerrung des Pankreas vermieden werden könnte.

Die Ausführung der ganzen Operation auf die beschriebene Weise verlangt nicht mehr als 5—6 Minuten. Hat man das Thier 4—5 Stunden vor der Operation stark gefüttert, so ist diese Absonderung sehr kräftig und kann einige Stunden fortdauern.

Jede neue Fütterung erzeugt eine neue Verstärkung der Secretion nach Verlauf von einiger Zeit ($^1/_2$—2 Stunden). Die Zeit, während welcher eine so angelegte Fistel zur Gewinnung von pankreatischem Safte benutzt werden kann, ist je nach dem Versuchsthiere sehr verschieden. Gewöhnlich fällt die eingelegte Canüle schon am nächsten Tage aus der Wundöffnung heraus, und in einigen Tagen darauf ist auch die Wunde selbst geschlossen.

Man kann eine temporäre Fistel ohne Schwierigkeit auch anlegen, wenn man den Schnitt, anstatt an der angegebenen Stelle, etwas näher der Linea alba an der äusseren Grenze des Rectus abdomin. führt. Auch genügt bei einiger Uebung eine Wunde von etwa 3—4 Centimetern, um das Pankreas hervorholen und eine Canüle in seinen Gang befestigen zu können.

Für permanente Fisteln ist es nach Ludwig vortheilhafter, kleinere Thiere zu wählen, da bei diesen der Pankreaskanal näher der Mittellinie des Körpers zu liegen kommt, also leichter von der Linea alba zu erreichen ist. In diese Linea wird in der Mitte zwischen Processus xiphoideus und Nabel ein zwei Centimeter langer Schnitt gemacht, der ohne Schwierigkeit gestattet, zwei Finger in die Bauchhöhle hineinzuführen und dort zu manövriren.

Der Zeige- und Mittelfinger der rechten Hand gehen nun in die Wunde hinein, schieben das gespaltene Omentum nach rechts und suchen die untere Curvatur des Magens auf in der Nähe der Portio pylorica; nach links und etwas nach oben zum Pylorus fortschreitend, stösst man bald auf das Pankreas. Sodann führt man die beiden Finger, mit der volaren Fläche nach oben gerichtet, von der Mittellinie nach links gehend, zuerst unter das Pankreas, dann unter das Duodenum und sucht beide, sie möglichst in ihrer gegenseitigen Lagerung belassend, aus der Bauchwunde hervorzuholen. Hat man sie dann mit ihrer vorderen Fläche vor sich, so bietet das Auffinden des grösseren Pankreasganges weiter keine Schwierigkeiten.

In eine kleine Oeffnung, die man in diesen Gang einschneidet, werden zwei Dräthe eingeführt, der eine in der Richtung des Duodenums, der andere in der des Pankreas; beide Dräthe werden dann rechtwinklig gebogen und mit einander spiralig zusammengedreht: ihr Herausgleiten aus dem Gange wird dadurch unmöglich gemacht. Mittelst dieser Dräthe wird nach Reposition des Pankreas in die Bauchhöhle der Gang in der Nähe der Bauchwunde fixirt. Die Dräthe werden an diese letztere befestigt und die Wunde geschlossen.

Nach einigen Tagen ist das Duodenum nebst Gang durch adhäsive Entzündung an den Bauchwandungen angewachsen, und wenn man in 5—6 Tagen die Dräthe vorsichtig auseinanderdreht und aus dem Gange entfernt, so bleibt die in ihm gemachte Oeffnung in der einmal erhaltenen Lage und ergiesst (besonders leicht bei stehender Lage des Thieres) den Pankreassaft nach aussen, jedesmal wenn die Absonderung in der Drüse durch die eingenommene Nahrung hervorgerufen wird.

Zeigt die Oeffnung des Ganges Tendenz sich zu verschliessen, so muss man suchen, durch Einführung seiner elastischer Drähte dies zu verhindern; was übrigens nicht immer mit Sicherheit gelingt.

Es wäre zu versuchen, ob nicht eine feine T-förmige Canüle, in den pankreatischen Gang eingeführt, bessere Dienste leisten könnte, als die bis jetzt üblichen Drähte. Einige Schwierigkeit würde nur die Einführung einer solchen Canüle in den ziemlich engen Gang bieten; sie würde sich aber umgehen lassen, wenn man diese Canüle aus zwei Stücken so zusammensetzte, dass der senkrechte Fortsatz erst nach Einführung der Canüle anzuschrauben wäre.

D. Anlegung von Gallenfisteln.

Zum Gallenfisteln werden vorzugsweise an Hunden angelegt, und zwar können auch sie entweder nur temporäre oder permanente sein.

Die Anlegung von temporären Gallenfisteln bietet gar keine Schwierigkeiten. Ein zwei Fingerbreiten langer, in der Linea alba, ein Paar Centimeter unterhalb des Processus xiphoideus geführter Schnitt genügt, um alle dabei nothwendigen Manipulationen bequem ausführen zu können. Nach Spaltung des Omentums wird mit Zeige- und Mittelfinger der rechten Hand in die Bauchhöhle hineingegangen und vorsichtig rechts von der Schnittführung das Packet aufgesucht, welches aus den Lebergefässen, Nerven und Ductus choledochus besteht. Die unter dieses Packet geschobenen Finger heben es empor, wonach man, um die Hände frei zu bekommen, unter dasselbe einen längeren Stift z. B. den Stiel eines Finders) führt, der, gestützt auf die äusseren Bauchdecken, das Packet vor dem Zurückweichen in die Bauchhöhle bewahrt.

Die Reihenfolge, in welcher die Gefässe und der Ausführungsgang in diesem Packet geordnet liegen, ist auf Taf. XXXIV Fig. 4 und 5 leicht zu erkennen. Der Ductus choledochus wird mittelst einer Präparationsnadel in der bekannten Weise isolirt, das in den Dünndarm eintretende Ende unterbunden und in das Leberende eine Canüle eingeführt, die man dann beliebig entweder mit einem Röhrensystem oder mit einem Kautschukbeutel verbindet. Darauf wird der dem Packet als Unterlage dienende Stift hervorgezogen, wodurch es von selbst in die Bauchhöhle hineinschlüpft und seine normale Lage wieder einnimmt. Hat man in den Gang keine T-förmige, sondern eine einfache Canüle eingeführt, so thut man besser, den Gang zwischen Canüle und Duodenum zu durchschneiden, um bei seinem Rücktritt in die Bauchhöhle jede unnütze Zerrung zu vermeiden.

Ist die Gallenabsonderung nicht stark genug, so kann man grössere Mengen dieses Secrets gewinnen, wenn man von Zeit zu Zeit die Gallenblase etwas zusammenspresst.

Permanente Gallenfisteln kann man bei verschiedenen Operationsverfahren erhalten.

Das älteste Verfahren rührt von Schwann her. Einem Hunde wird durch ein Schnitt in der Linea alba gleich unterhalb des Processus xiphoideus gemacht, der Ductus choledochus in derselben Weise, wie oben angegeben worden, hervorgesucht, doppelt unterbunden, und zwar einmal an der Abgangsstelle des Ductus cysticus, das andere Mal nahe am Duodenum, und dann das Zwischenstück herausgeschnitten. Ohne solche Entfernung des Ductus soll die Möglichkeit seiner

Regeneration nicht ausgeschlossen sein, besonders bei gehemmtem Abfluss der Galle nach aussen.

Sodann wird die Gallenblase aufgesucht, durch eine Pincette in die Wunde gezogen und an die beiden Wundränder durch ein Paar Ligaturen befestigt.

Wird sodann die Gallenblase zwischen den Wundrändern durchschnitten, so erhält man eine nach aussen sich ergiessende Fistel. Gelangt bei der Ausführung dieser Operation etwas Galle in die Bauchhöhle, so zieht dies weiter keine üblen Folgen nach sich; dagegen ist es von hohem Belang für einen glücklichen Ausgang der Operation, dass kein Blut in's Peritoneum dringe.

Der Erfolg dieser Operation ist aber auch bei der sorgfältigsten Ausführung kein constanter, indem die Thiere nicht selten einige Tage nach derselben zu Grunde gehen. Seltner kommen Ablösungen der Gallenblasenwände von der Bauchwand vor, was natürlich auch den Operationszweck vereitelt.

Zuverlässiger ist es daher, die Operation in einer etwas abweichenden Weise auszuführen. Anstatt nämlich die Gallenblase selbst an die Bauchwände zu fixiren, wird in dieselbe eine neusilberne Canüle eingeführt, die an der einen Seite einen verdickten Rand, an der anderen einen breiteren Rand nach Art der Bernard'schen Magencanüle besitzt. Dieser breitere Rand ist mit einigen Löchern versehen.

Bis zur Herausholung der Gallenblase[1]) wird die Operation ganz in der eben beschriebenen Weise ausgeführt; die Blase muss aber hierbei etwas mehr aus der Wunde herausgeholt werden. Sobald dies geschehen, wird in dieselbe eine kleine Oeffnung gemacht, in welche die Canüle mit dem verdickten Rande hineingezwängt wird, worauf man die Gallenblasenwand oberhalb dieses Randes in der bekannten Weise mit einem Faden fest zusammenschnürt. Durch die Löcher des breiteren Randes werden einige Dräthe geführt, mittelst welcher er an die Bauchwände fixirt wird.

Die Einführung solcher Canülen bietet noch den Vortheil, dass man sie beliebig verschliessen kann, um zu beliebigen Zeiten Galle durch die Fisteln sammeln zu können.

Die zur Anlegung von Gallenfisteln benutzten Hunde müssen vorher wenigstens 24 Stunden hungern, weil bei nüchternen Thieren die Gallenblase viel strotzender gefüllt ist, als bei in der Verdauung befindlichen. Auch ist es nothwendig, für diese Operation kräftige Thiere, am besten Schäferhunde, zu wählen.

Temporäre Fisteln sind mit Erfolg auch bei Kaninchen und sogar bei Meerschweinchen angelegt worden. —

Anhang zu § II.

Bei allen in diesem Paragraphen beschriebenen Fisteln ist es von grossem Nutzen eine Vorrichtung zu besitzen, welche es gestattet, alle aus der Fistel zu gewinnenden Flüssigkeiten während längerer Zeit bequem sammeln zu können, ohne dass dem Thiere dabei irgend welche Unzuträglichkeiten entstehen. Es ist

---

1) Bei Einführung von Canülen zur Bildung permanenter Fisteln ist es oft vortheilhaft, den Schnitt nicht in der Linea alba, sondern an dem äusseren Rande des rechten M. rectus zu machen.

ist daher wünschenswerth, das Thier ohne quälende Zwangsmittel längere Zeit in einer bequeme Lage erhalten zu können, die gleichzeitig auch günstig für das Abfliessen der Secrete oder auch für sonstige Manipulationen an den Fisteln wäre.

Die von Ludwig dazu benutzte Vorrichtung erfüllt am besten den gewünschten Zweck. Diese Vorrichtung besteht in einem Gestell, in welchem das Thier in stehender Lage unbeweglich fixirt wird und zwar in einer Weise, dass es stundenlang ohne Ermüdung diese Stellung einhalten kann. Diese Vorrichtung ist in Fig. 7 Taf. XXVI wiedergegeben und ist ihr Bau ohne Schwierigkeit aus der Zeichnung selbst klar. In dem Gestell ist ein schwerer Klotz in der Weise eingehängt, dass man ihm jede beliebige Höhe in demselben geben kann. Dem Hunde werden auf allen vier Pfoten lederne Tragbänder aufgezogen, deren Form aus der Zeichnung sichtbar ist; diese Tragbänder reichen bis zum Rumpf hinauf und sind sowohl die beiden vorderen, als die beiden hinteren je unter einander durch Zwischenriemen verbunden, welche auf der Bauchseite des Thieres zu liegen kommen. Ausser diesen Riemen von constanter Länge lassen sich die entsprechenden Tragbänder noch durch je ein Paar lederne Streifen mittelst Schnallvorrichtungen verbinden, von denen die einen über den Rücken des Thieres, die anderen über den Klotz geschlagen und dort fixirt werden (s. Figur).

Ist das Thier in der aus der Zeichnung verständlichen Weise befestigt, so kann es nur ganz kleine Bewegungen mit dem ganzen Körper machen, die nicht im Mindesten das Manövriren an der Fistelöffnung hindern. Wird dabei der Klotz mittelst der Schnüre so weit in die Höhe gehoben, dass das Thier mit den Füssen kaum den Boden berührt, so kann es, ohne zu ermüden, stundenlang in dieser fast hängenden Stellung verbleiben.

Zur Sammlung der Secrete wird ein Probirgläschen, in welchem ein Glastrichter steckt, so um den Leib mittelst eines Fadens fixirt, dass die weite Oeffnung des Trichters die Fistelöffnung umschliesst (s. Figur).

§ III. Versuche über die Harnabsonderung.

Bei der tiefen Lage der Niere kann ihre Thätigkeit nur schwer Gegenstand directer Beobachtung werden. Die auf die Harnabsonderung gerichteten Versuche müssen sich daher mit dem Studium der Einflüsse begnügen, welche grössere oder geringere willkürlich gesetzte Störungen in der Functionirung der Nieren auf die Absonderung des Harns auszuüben vermögen. Demgemäss bestehen die vivisectorischen Eingriffe beim Studium der Nierenthätigkeit in Entfernungen der einen oder beider Nieren, in Unterbindungen oder Verengerungen der Ureteren, in Durchschneidungen der Nierennerven, Unterbindungen der Nierengefässe etc.

Die zweckmässigsten Methoden zur Ausführung dieser Operationen sollen hier beschrieben werden.

Die Extirpation der Nieren ist bei Hunden sehr häufig sowohl zu chirurgischen (Dupuytren, Comhaire, Rayer, G. Simon u. A.) als zu physiologischen Zwecken ausgeführt worden. Wenn die von den Chirurgen ausgeführten Operationsmethoden auch, was die anatomische Basis anbelangt, viel sorgfältiger ausgearbeitet wurden, als die von Physiologen unternommenen, so haben dagegen, was die Erhaltung der

Thiere am Leben und deren sonstige Resistenzfähigkeit gegen die Verletzung anbelangt, die letzteren günstigere Resultate erhalten als die ersteren.

Zum Theil ist dies günstigere Resultat aber nur scheinbar, indem die Chirurgen, welche die Operation nur ausführten um die Operationsmethoden selbst auszuarbeiten und in ihren Resultaten beurtheilen zu können, für gewöhnlich sämmtliche von ihnen ausgeführte Operationen mittheilen, sowohl die mit günstigem, als mit ungünstigem Verlauf. Die Physiologen dagegen, denen es nur auf die physiologischen Ergebnisse der Nierenexstirpation ankommt, beschränken sich selbstverständlich nur auf die Mittheilung derjenigen Versuche, welche, was die Resistenz des Thieres gegen die Operation betrifft, ein günstiges Resultat geliefert haben.

Aber auch abgesehen davon erzielen die Physiologen günstigere Resultate, und zwar hauptsächlich darum, weil sie meistens sehr sorgfältig Verletzungen des Peritoneums bei der Nierenausschälung umgehen, während die früheren Chirurgen aus Bequemlichkeitsursachen beim Operiren das Peritoneum gewöhnlich zu spalten pflegten. Das Peritoneum parietale reicht nämlich beim Hunde ziemlich weit nach innen; wenn man es daher beim Operiren umgehen will, so muss man in der ziemlich starken Lendenmuskulatur operiren, was mit grösseren Schwierigkeiten verbunden ist, als wenn mehr nach aussen operirt wird, wo die dünnen Abdominalmuskeln eine viel oberflächlichere Wunde gestatten.

Uebrigens hat von den neueren Chirurgen G. Simon auch das erstere mehr den Physiologen nachgebildete Verfahren vorgezogen, bekanntlich mit günstigem Erfolge.

Ein sehr sorgfältiges Operationsverfahren beim Hunde mit genauer Berücksichtigung der anatomischen Verhältnisse hat Rawitsch zu physiologischen Zwecken ausgebildet und ausführlich beschrieben. Wir wollen dasselbe hier das als unseren Erfahrungen nach zweckmässigste wiedergeben und darauf die übrigen Methoden nur andeutungsweise berühren.

Da die Lage der Nieren beim Hunde nicht auf beiden Seiten dieselbe ist, so ist auch die für die Operation zu wählende Stellung nicht bei beiden Nieren identisch. Im Gegensatz zu der Lage beim Menschen befindet sich beim Hunde die linke Niere etwas tiefer als die rechte; dies erfordert beim Operiren an der linken Niere die Wunde etwas mehr nach innen (näher zur Wirbelsäule) zu machen. Das verschiedene Verhältniss des Colon ascendens und Colon descendens zu den beiden Nieren erfordert auch seinerseits rechts den Schnitt mehr nach oben vorne, links mehr nach unten hinten zu führen.

Die Operation selbst wird in folgender Weise ausgeführt. Das mit Chloroform oder Chloral narkotisirte Thier wird in der Bauchlage in der Weise befestigt, dass unter die Bauchgegend eine Unterlage gelegt wird, damit die zu operirende Partie mehr hervorgehoben bleibt.

Die zu operirende Seite wird mehr nach oben gebracht, sodass das Thier ein wenig auf die entgegengesetzte Körperseite zu liegen kommt.

Rawitsch beginnt auf der rechten Seite den Hautschnitt vom vorderen Ende der letzten Rippe und führt ihn parallel der Wirbelsäule gegen das Kreuzbein; die Länge des Schnittes beträgt $2\frac{1}{2}'' - 4\frac{1}{2}''$, je nach der Grösse des Thieres. Die Muskelschicht durchtrennt er etwa $\frac{1}{2}''$ von den Querfortsätzen der Lendenwirbel entfernt, auch parallel der Wirbelsäule und genau an dem unteren Rande

der letzten Rippe beginnend. Die Wundränder werden mit Haken stark auseinandergezogen; worauf man mit Hilfe eines Spatels oder des Messerstiels die Niere aus der Fettkapsel herausschält, sie dann vorsichtig aus der Wunde emporhebt, die Gefässe ganz nahe am Hilus doppelt unterbindet und zwischen der Unterbindungsstelle durchschneidet.

Auf der linken Seite verfährt Rawitsch auf dieselbe Weise; nur beginnt er den Hautschnitt — statt vom vorderen — vom hinteren Theile der Rippe, und den Muskelschnitt etwa 1″ unterhalb derselben.

Nach Herausholen der Nieren wird die Wunde durch eine Knopfnath verschlossen; die ersten Tage nach der Operation muss die Wunde sorgfältig überwacht und reingehalten werden.

Operirt man auf die beschriebene Weise, spaltet man die Nierenkapsel und schält die Niere heraus, ehe sie aus der Wunde herausgezogen wird — so kann man die Operation ohne jede Verletzung des Peritoneums vollbringen. Blutverluste können ganz vermieden werden. Die Operation ist an sich wenig schmerzhaft und kann in 10—15 Minuten beendet werden.

Vortheilhaft ist es, den Hautschnitt etwas mehr nach innen zu beginnen und dann schräg von oben und aussen nach innen zu führen und der Muskeltrennung dieselbe Richtung zu geben.

Das von Comhaire benutzte Operationsverfahren, das den Triangulus Petiti zur Basis hat, gestattet zwar ganz minimale Muskeldurchschneidungen zu machen, indem er in die Bauchhöhle am inneren (hintern) Rand der schiefen Bauchmuskeln eindringt; dagegen ist aber dabei eine Spaltung des Peritoneums nicht zu umgehen, was für den Ausgang der Operation höchst ungünstig ist; dies beweisen übrigens schon die geringen Erfolge, welche Comhaire erzielt hat, da von 60 operirten Hunden nur 3 geheilt wurden.

Neuerdings hat sich Dr. Klinneberg (bei Prof. Heppner) mit Schaffung von Methoden zur Ausführung der Nephrotomie beschäftigt.

Er beginnt den Hautschnitt 4—6‴ unterhalb des vorderen Endes der letzten Rippe und führt ihn bogenförmig, mit geringer Convexität nach oben, innen und unten, zum äusseren Rande des M. sacrolumbalis. Etwa in der Mitte dieses Schnittes befindet sich eine Stelle, wo die Bauchwand am dünnsten ist, da sie ausser der Haut nur vom Latissimus dorsi, von der Ursprungsfascie des M. obliquus abd. int. und des M. transvers. abd. und der Fascia endoabdominalis gebildet wird. Auch bei dieser Operationsweise wird das Peritoneum mit gespalten, um zur Niere zu gelangen. Dies ist aber auch für den Erfolg der Nephrotomie von Nachtheil.

Dagegen ist es vortheilhaft, diese Gegend zu benutzen, wenn die Operation vorgenommen wird, um an den Arterien oder Nerven der Niere zu manipuliren.

Bei Kaninchen wird die Nephrotomie ganz in derselben Weise wie bei Hunden ausgeführt. Bei Vögeln, welche in so vielen Beziehungen für das Studium der Harnbildung von hohem Interesse sind, ist die Ausführung der Nephrotomie nach Zalesky's Behauptung unmöglich. Die Nieren liegen bei ihnen ziemlich tief, erstrecken sich in die Excavation des Kreuzbeins und sind von sehr vielen Gefässen durchbohrt, die unmöglich alle unterbunden werden können.

Bei Operationen an den Urteren wählt man am besten ihre unteren Partien nach ihrem Eintritte in die Blase. Der Schnitt kann entweder in der Linea alba

gleich oberhalb der Symphysis pubis oder an beiden Seiten der Recti abdominis geführt werden. Zur ersteren Operationsweise greift man, wenn die Ureteren nur unterbunden werden sollen; in solchem Falle sucht man sie dicht vor dem Eintritt in die Blase auf. Die letztere Schnittführung ist vorzuziehen, wenn man in die Ureteren Canülen einführen will, um den unter ganz normalen Verhältnissen sich absondernden Harn zu sammeln. (Das im Cap. 6 mitgetheilte neueste Verfahren von Eckhardt zur Aufsuchung der Nn. erigentes eignet sich vorzüglich auch für die Ureteren.)

Sehr sorgfältig hat Max Herrmann in Ludwig's Laboratorium die Methode der Harnsammlung durch in die Ureteren eingeführte Canülen ausgearbeitet und dabei auch sämmtliche Vorsichtsmaassregeln angegeben, welche für die Fortsetzung der Harnabsonderung mit normaler Geschwindigkeit nach dieser Operation von Belang sind.

Max Herrmann wählt, wenn bei den Thieren sonst keine weitere Operation an den Nierennerven etc. stattfinden soll, vorzugsweise grosse Hunde, welche unmittelbar vor der Operation mit viel Fleisch gefüttert wurden, um die Thiere während des Maximums der Harnabsonderung zur Beobachtung zu haben. Die Schnitte durch die Bauchwandungen zur Aufsuchung der Ureteren führt M. Herrmann unmittelbar der Symphysis sacro-iliaca gegenüber; ihre Länge muss gerade genügen, um zwei Finger in die Bauchhöhle einführen zu können. Der Ureter wird dann durch Tasten von diesen Fingern an seiner Kreuzungsstelle mit der Art. iliaca aufgesucht und hervorgezogen. Die zur Einführung in den Ureter benutzte metallne T-förmige Canüle ist an dem zur Harnblase gerichteten Ende des horizontalen Schenkels blind geschlossen; das offene Ende ist etwas schräg zugespitzt, um leichter eingesetzt werden zu können. Der senkrechte Schenkel muss so lang sein, dass er bei der Rückkehr des Ureters in seine normale Lage noch durch die Bauchwände hervorragt. Es ist vortheilhaft, ihn an seinem Ende mit einem Oehrchen zu versehen, das sowohl zur Anzeige der Lage des horizontalen Schenkels als zur Befestigung des senkrechten Schenkels an die Bauchwände dienen kann.

Durch einen Schlitz in den Ureter wird der horizontale Schenkel eingesetzt, an beiden Enden befestigt und in die Wunde in der normalen Stellung zurückgebracht. Soll der Hund dabei in stehender Stellung während des Harnsammelns verharren (wozu man ihn am besten in dem im vorigen § beschriebenen Gestell durch die schon bekannten Tragbänder befestigt), so verbindet man das freie Ende des senkrechten Schenkels durch einen Kautschuckschlauch mit einer gebogenen Glasröhre, die durch den Kork eines Glaskölbchens durchgelassen wurde.

Soll die Geschwindigkeit der Absonderung gemessen werden, so benutzt man statt solcher Kölbchen am besten graduirte Messcylinder.

Sind die Thiere mit Curare vergiftet, muss also die künstliche Respiration eingeleitet werden, so befestigt man die Thiere in der Rückenlage; in diesem Falle ist es nothwendig, folgenden von Ustimowitsch in Ludwig's Laboratorium gebrauchten Handgriff anzuwenden, damit die Einführung der T-förmigen Canüle kein Hinderniss im Abfluss des Harns entstehe. Um den Druck des in dem senkrechten Schenkel dieser Canüle enthaltenen Harns auf den Inhalt des Ureters zu vermeiden, wurde er mit einem Winkelrohr verbunden, dessen absteigender Schenkel

die gleiche Länge mit ihm besass. Dieser absteigende Schenkel mündete frei in das Sammelröhrchen für den Harn.

Zur Beseitigung einiger Fehlerquellen, welche sich beim Sammeln des Harns durch die Ureteren einschleichen können, muss man folgende von M. Herrmann angegebenen Punkte im Auge behalten.

Wird die Canüle zu weit nach hinten in den Ureter eingesetzt, so kommt es leicht vor, dass nach Zurückbringen des Ureters in seine frühere Lage beim Schluss der Wunde der hintere Wundwinkel den senkrechten Schenkel der Canüle etwas nach vorne neigt; dadurch wird der horizontale Schenkel etwas abgehoben, und seine Mündung durch die Ureterenwand kann theilweise oder ganz verschlossen werden. Um dies zu vermeiden, suche man die Canüle an einer Stelle des Ureters anzubringen, welche gerade der Bauchwunde entspricht.

Die Harnblase muss entleert werden, ehe man die Canülen einführt, da die volle Blase die Ureteren nach oben zieht; auch der Mastdarm muss entleert werden, damit er nicht den Ausfluss aus dem linken Ureter hemmt. Auf die Lage der Darmschlingen wird sorgfältig Acht gegeben, da auch sie den Ureter oder die Canüle verschieben und verschliessen können.

Zur Aufsuchung der Ureteren bei Vögeln hat Zalesky auf Hoppe-Seyler's Rath folgende zwei Operationsweisen angewendet. Die Thiere (Huhn, Gans etc.) werden auf dem Tisch befestigt [1]), nachdem ihnen mittelst einer Scheere das untere Drittel des Bauches sammt Cloake von Federn befreit wurde.

Bei dem einen Verfahren wurden dem Thiere zwei Schnitte an den Seiten der Cloake gemacht, von denen jeder etwa 3‴ von derselben entfernt war und eine Richtung von oben und innen nach unten und aussen hatte. Diese Schnitte bildeten um die Cloake einen Dreieck, dessen Spitze der Linea alba, dessen Basis dem Schwanze zugekehrt war. Sowohl die Haut als die Bauchmuskeln müssen vorsichtig und womöglich ohne Blutung durchschnitten werden. Die Ureteren werden dann (bei Vermeidung schneidender Instrumente) in der Mitte der dreieckigen Wunde aufgesucht; sie haben die Form feiner fibröser Stränge, unterscheiden sich aber durch ihre Farbe von dem umliegenden Gewebe und münden in die Cloake mit kleinen länglichen Oeffnungen. Nach auf die gewöhnliche Weise ausgeführter Unterbindung der Ureteren wird die Wunde durch eine Kopfnath geschlossen.

Bei der zweiten Operationsweise wird der Schnitt in der Linea alba vom unteren Ende des Brustbeins bis zur Cloake, jedoch ohne Verletzung dieser letzteren, geführt. Mit den Fingern dringt man dann in die Bauchwunde und sucht die von oben und hinten nach vorn und unten gehenden Ureteren, in Fett und in ein Netz von Blutgefässen gehüllt, auf. Vor ihrer Unterbindung werden sie von den Gefässen isolirt. Die dabei nicht zu vermeidende Verletzung des Peritoneums ist von weiter keinem Nachtheile, da Vögel Peritonealwunden sehr gut vertragen. Zalesky pflegt dieses letztere Verfahren nur bei grösseren Thieren, bei denen der Abstand vom Brustknochen bis zur Cloake nicht zu klein ist, anzuwenden. Sonst giebt er dem ersteren den Vorzug.

---

1) Zur Befestigung der Vögel in der Rückenlage werden am zweckmässigsten Schlingen verwendet, welche die Flügel, den Schwanz und die Beine einzeln umfassen.

Zur Untersuchung des Druckes, unter welchem der Harn abgesondert wird, oder des Einflusses, welchen eine erzeugte Spannung in den Harnkanälchen und Glomerulis auf die Zusammensetzung des Harnes auszuüben vermag, verbindet man die in den Ureter eingesetzte Canüle mit einem Quecksilbermanometer. Max Herrmann bediente sich, um durch einen constanten Gegendruck die Harnabsonderung zu verlangsamen, einer doppelschenkligen Glasröhre, deren absteigender Schenkel mit der Uretercanüle auf passende Weise zusammengefügt, deren aufsteigender Schenkel durch ein Kautschukröhrchen mit dem Sammelcylinder verbunden werden konnte. Giesst man Quecksilber in diese Röhre, so drängt die sich ansammelnde Flüssigkeit dasselbe in den aufsteigenden Schenkel und fliesst somit unter constantem Gegendruck aus. Will man dabei die Höhe der Quecksilbersäule während des Versuchs selbst variiren, so versieht man den aufsteigenden Schenkel mit einem seitlichen Zweig, aus dem man das Quecksilber abfliessen lassen, resp. solches in die Röhre zugiessen kann.

Von den bei Versuchen über die Harnabsonderung noch in Betracht kommenden Operationsweisen sind hier noch diejenigen zu beschreiben, welche die Nerven und die Blutgefässe der Nieren zum Gegenstand haben.

Für Versuche an den Nerven sind kleinere Hunde wegen der relativ geringeren Tiefe der Wunde vorzuziehen. Zur Aufsuchung dieser Nerven verfährt Max Herrmann auf folgende Weise. Das narkotisirte Thier wird mit dem Leibe auf eine etwas erhöhte Unterlage in der Weise befestigt, dass die Baucheingeweide nach unten gedrängt werden. Der Hautschnitt beginnt unterhalb der letzten falschen Rippe und wird nach unten entsprechend dem Rande des Musc. sacrolumbalis geführt. Nachdem dieser Muskel blossgelegt ist, wird das obere Blatt seiner Scheide gespalten. Man führt dann den Finger in den Scheidenraum unter den Muskel bis zu den Querfortsätzen und durchschneidet auch das zweite Blatt der Scheide. Man hat dann unmittelbar vor sich den Hilus der in einem Fettpolster gelagerten Niere.

Der weitere Verlauf der Operation ist mit grossen Schwierigkeiten verbunden und muss man langsam zu den Nerven zu gelangen suchen, mit möglichster Schonung der auf dem Wege liegenden Blutgefässe. Max Herrmann constatirte den ungünstigen Einfluss auf die Harnabsonderung, welchen das unvermeidliche Misshandeln der Nierengefässe nach sich zieht, wenn man diese Nerven an den Stellen aufsucht, wo sie sich diesen Gefässen anlegen.

Er bemühte sich daher, sie soweit als möglich von den Gefässen entfernt aufzusuchen. Um dabei die Möglichkeit zu haben, in einer unverrückbaren Wunde mit genügender Beleuchtung der tieferen Theile zu manipuliren, bedient man sich des auf Taf. II. Fig. 1 abgebildeten Instrumentes, das nach Art eines zweiblättrigen Scheidenspeculums gearbeitet ist. Die Blätter dieses Speculums sind mit Bohrungen versehen, welche es gestatten, dieselben durch einen scheerenartigen Griff zu erfassen, dessen Arme durch eine Schraube in beliebiger Stellung von einander fixirt werden können.

Hat man dieses Speculum in einer Weise eingeführt, dass die Wundränder genügend weit auseinander gedrängt sind, und übergiebt man den Griff einem Gehilfen, so kann der Operirende mit ziemlicher Sicherheit in der Wunde arbeiten.

Man findet den Nervenplexus am besten, wenn man die Nebenniere aufsucht,

an die er eng angeheftet ist, bevor er seine Zweige zu den Nierengefässen sendet. Indem man die hintere Fläche der Nebenniere zum Ausgangspunkt der Aufsuchung nimmt, gelangt man zu diesen Zweigen, die dann durch untergeführte Haken etwas emporgehoben und durchschnitten werden. (Durchschneidung dieser Nerven ist der bevorzugte Eingriff, da isolirte Reizung derselben wegen ihrer Lage und Kürze die grössten Schwierigkeiten bietet.)

Bei dieser ganzen Operation muss man sich möglichst weit von der Niere entfernt halten; man vermeidet dadurch sowohl Oedeme des Bindegewebes in der Umgegend der Niere, durch welche ihre Lymphwege den Weg nehmen, als Abkühlung dieses Organs: beides für die Secretion der Niere störende Umstände. Ist eine solche Abkühlung eingetreten, was sich durch das Dunkelwerden der Nierenoberfläche kundgiebt, so muss man sie durch Schluss der Wunde, Auflegen der Hand etc. wieder zu erwärmen suchen.

Der auf dem Wege liegende Nervus lumb. prim. kann, wenn störend, sammt seinen Gefässen unterbunden und durchschnitten werden.

Sowohl M. Herrmann als Ustimowitsch benutzten für solche Operationen am liebsten die linke Niere. Wegen der schon angegebenen oberflächlicheren Lage der rechten Niere würde es vielleicht vortheilhafter sein, diese zu wählen. Da es für die leichtere Ausführbarkeit der Operation von grossem Nutzen ist, eine möglichst wenig tiefe Wunde zu haben, so können die oben bei der Nephrotomie beschriebenen Schnitte von Comhaire und Klinneberg (s. o.) hier die Operation bei weitem erleichtern, da man nur die dünnen Abdominalmuskeln sammt ihren Fascien dabei zu durchtrennen hat.

Man muss wegen der Schwierigkeit der Operation jedesmal durch die Section feststellen, ob auch sämmtliche vom Plexus renalis abgehenden Fädchen durchschnitten sind. Am abgetrennten Rückenstücke präparirt man genau sowohl die mit den Nieren als mit dem Plexus noch zusammenhängenden Nervenstümpfe.

Zu den Nierengefässen gelangt man ganz auf dieselbe Weise wie zu den Nerven. Deren Auffindung bietet übrigens keine Schwierigkeiten, da man den Hilus der Niere bei der oben angegebenen Operationsweise zuerst zu Gesicht bekommt.

Ausser der Einführung von Canülen, die in diesen Gefässen nach den allgemeinen Regeln geschieht, kommt hier noch ein anderer Handgriff in Betracht, welcher für das Studium des Absonderungsprocesses von grossem Belang geworden ist: nämlich die Verengerung des Stromgebietes in der Nierenarterie, um deren Einfluss auf Zusammensetzung und Menge des abgesonderten Harns zu ermitteln. Auch diese Operation wurde zuerst von M. Herrmann mit Erfolg ausgeführt, und zwar mit Hilfe eines Instruments, das auf Taf. III. Fig. 12 abgebildet ist. Es besteht aus zangenartig zusammengefügten Stäben *a* und *a'*, die kreuzweise mit einander durch eine Schraube beweglich vereinigt sind.

Von den zwei längeren Armen dieses Instruments trägt der eine einen bogenartig gekrümmten Fortsatz *b*, der bei der Näherung dieser Arme sich in einem Schlitz *c* des anderen Arms verschiebt. Die kürzeren Arme, die als Griff dienen, werden durch eine Spiralfeder auseinandergehalten und können einander nur mit Hilfe einer Schraube *d* genähert werden. Die Entfernung dieser kürzeren Arme von einander wird an einer mit Millimetertheilung versehenen Scala abgelesen, die an dem einen von ihnen angebracht ist.

Die Handhabung dieses Instrumentes besteht darin, dass man den Fortsatz *b* des längeren Armes *a* unter das zu verengende Gefäss bringt, dasselbe also zwischen den beiden Armen erfasst und durch deren, mit der Schraube erzeugte Annäherung beliebig verengt. Durch vorherige Graduirung dieses Instrumentes wird bestimmt, wie viel Theilungen der am kurzen Arme angebrachten Scala bestimmten Annäherungen der langen Arme entsprechen.

Denselben Zweck erfüllt das von Ustimowitsch verwendete, auf Taf. IV Fig. 13 dargestellte Instrument auf eine viel einfachere und bequemere Weise.

Es besteht aus einem durchbohrten Stabe *e*, der unten mit einem hakenförmig gebogenen Fortsatze *a* endet. In diesem Stabe bewegt sich mit Hilfe der Schraube *c* ein zweiter Stab *d*, der mit einem in gleichem Sinne gekrümmten Fortsatze *b* versehen ist.

Das Gefäss wird zwischen diesen beiden Fortsätzen gefasst und durch Drehung der Schraube *c* beliebig verengt. Der der Grad Verengerung wird an einer am inneren Stabe *d* angebrachten Theilung direct abgelesen, die durch einen Schlitz im äusseren Stabe sichtbar ist.

Bei der Anlegung dieses Instruments an der Nierenarterie müssen für die Beurtheilung der erhaltenen Veränderungen in der Harnabsonderung zwei Momente im Auge behalten werden. Erstens, dass ausser dieser Arterie die Niere ihr Blut noch aus mehreren arteriellen Aestchen an ihrer Oberfläche erhält; die Circulation in derselben ist also sogar nach vollständigem Schluss dieser Arterie nicht ganz aufgehoben. Diese an die Oberfläche der Nieren tretenden Gefässe scheinen aber, wie M. Herrmann's darauf gerichtete Untersuchungen ergaben, nur in sehr seltenen Fällen (unter 18 nur 3 Mal) von Einfluss auf die Harnabsonderung zu sein. Zweitens kann, in Anbetracht der grossen Widerstände, welche das reiche Capillarnetz dem aus der ziemlich weiten Art. renalis tretenden Blute entgegensetzt, die Verengerung nur in gewissen Grenzen ein merkliches Eingreifen in die Thätigkeit der Niere erzeugen; diese Grenzen sind aber grossen individuellen Verschiedenheiten unterworfen und können nur annährend bestimmt werden.

Die in Bezug auf Diabetes vorzunehmenden Versuchsanordnungen beschränken sich, was die Harnorgane selbst anbetrifft, fast ausschliesslich auf ein bequemes Auffangen des Harns. Dieses geschieht entweder auf die schon beschriebene Weise aus den Ureteren, oder durch Befestigung einer Canüle in die Harnblase selbst, oder endlich durch einfaches Katheterisiren der Thiere durch die Urethra. Alle diese Handgriffe bedürfen keiner besonderen Beschreibung.

Diejenigen, die Physiologie des Diabetes betreffenden Versuche aber, welche in Verletzungen und Reizungen verschiedener centraler und peripherer Nervenpartien bestehen, sind im 6. Capitel besprochen.

§ IV. Versuche über Lymphabsonderung.

Die Versuche, welche das Studium der Lymphabsonderung zum Gegenstand haben, verfolgen meistens folgende drei Hauptziele: 1. die Gewinnung grösserer Lymphmengen, um deren chemische und morphologische Eigenschaften kennen zu lernen; 2. die Beobachtung der Kräfte, welche der Ausscheidung und Fortbewegung der Lymphe vorstehen, und 3. die Ausführung verschiedener Injections-Versuche, um den Ursprung der Lymphwurzeln und deren Zusammenhang mit dem

umgebenden Bindegewebe genauer zu erforschen. Obgleich dieser letztere Zweck genauer in das Gebiet des mikroskopischen Studiums der Lymphgefässe gehört, so besitzt doch die Technik dieser Untersuchungen einige Versuche, welche auch ohne Beihilfe des Mikroskops sehr belehrende Aufschlüsse gestatten und daher bei Vorlesungen in hohem Grade zum Verständniss der Aufsaugung der Lymphe beitragen können.

So verschieden im gegebenen Falle auch der specielle Zweck des an den Lymphgefässen Experimentirenden sein kann, so kommt man doch sehr oft in die Lage, bei einer und derselben Untersuchung gleichzeitig zu mehreren der hier zu beschreibenden Versuchsmethoden zu greifen. Es lassen sich daher diese letzteren nur annäherungsweise in, den genannten Versuchszwecken entsprechende Gruppen eintheilen.

Fast sämmtliche Methoden, welche in diesem Paragraphen zu beschreiben sind, verdanken ihre Auffindung und weitere Vervollkommnung der ununterbrochenen Reihe von Untersuchungen, welche Ludwig und unter seiner Leitung seine Schüler während einiger Decennien ausgeführt haben. Seit der ersten Untersuchung Noll's im Jahre 1850 sind daher die meisten Errungenschaften der Physiologie der Lymphe Ludwig's Laboratorien in Zürich, Wien und Leipzig gewonnen worden.

Die Thiere, welche am häufigsten zu Versuchen über die Lymphabsonderung gewählt werden, sind Hunde und Pferde. Am besten sind junge kräftige Individuen zu brauchen, die weder zu mager sind, noch ein grösseres Fettpolster besitzen. Die Ernährungsweise der Thiere wirkt auch auf die Menge der abgesonderten Lymphe bestimmend; so z. B. beobachteten Bidder und Weiss, dass Füllen, die mit Milch gefüttert werden, viel mehr Lymphe absondern, als solche, die Heu fressen.

Narkotisationen mit Opium und in letzterer Zeit mit Curare werden oft angewendet, doch muss bei der Deutung der Versuche der Einfluss, welchen diese beiden Gifte auf die Lymphabsonderung auszuüben vermögen, ganz besonders berücksichtigt werden. Während die Opiumnarkose auf die Mittelwerthe der abgesonderten Lymphmengen von gar keinem Einfluss zu sein scheint, wenigstens von keinem, der nicht mittelbar durch die Einwirkung dieses Giftes auf die Blutgefässe oder durch die Aufhebung der willkürlichen Bewegungen des Thieres bedingt wäre, steht Curare in ganz specifischer Beziehung zur Absonderung und Bewegung der Lymphe (Genersich, Lesser u. A.).

Wird die Opiumnarkose bei Versuchen über die Lymphabsonderung verwendet und sind Muskelcontractionen mit dem Zwecke derselben nicht verträglich — so muss der Versuch an Orten angestellt werden, wo die grösste Ruhe herrscht; die sehr gesteigerte Reflexerregbarkeit so vergifteter Thiere veranlasst sonst plötzliches Zusammenzucken der Thiere bei jedem Geräusche oder Erschütterung, die in ihrer Nähe stattfinden. Dasselbe ist erforderlich, wenn die Canülen in zarte, leicht zerreissliche Lymphgefässe eingebunden sind; da sonst bei einer plötzlichen Bewegung des Thieres die Canüle herausschlupfen oder das Gefäss reissen kann.

Um grössere Muskelruhe zu erhalten, haben daher Bidder und Weiss zur Chloroformnarkose, Genersich u. A. zur Curarevergiftung gegriffen. Der etwaige Einfluss des Chloroforms auf die Lymphabsonderung ist noch wenig ermittelt; es darf aber wegen seiner eingreifenden Beziehung zu den Gefässnerven gewiss auch

für die Lymphabsonderung nicht als indifferent betrachtet werden. Eingreifender ist die Wirkung des Curare auf die Lymphbildung. Wie schon die Versuche von Lesser angedeutet und die von Paschutin weiter bestätigt haben, vermag Curare in nicht unbeträchtlichem Maasse die Menge der abgesonderten Lymphe zu steigern, wobei gleichzeitig auch die Menge der festen Bestandtheile der Lymphe zuzunehmen scheint.

Wird Curare bei solchen Versuchen zur Erzeugung einer vollständigen Muskelruhe verwendet, so ist es rathsam, die Vergiftung in einer Weise vorzunehmen, welche zwar zur vollständigen Bewegungslosigkeit des Thieres führt, aber auch die Anhäufung grösserer Curaremengen im Körper verhindert. Man spritzt zu diesem Zwecke dem Thiere allmählich ganz kleine Mengen Curare in die Venen ein und prüft nach jeder Einspritzung, ob eine Berührung der Conjunctivalfläche noch reflectorisch Bewegungen der Augenlider hervorrufen könne. Sobald dies nicht mehr der Fall ist, wird die weitere Einspritzung sistirt. Das Thier verharrt dann annähernd eine Stunde vollständig bewegungslos; sobald sich dann kleine fibrilläre Zuckungen in den Muskeln oder ein schwaches Blinzeln der Augenlider bei Berührung der Conjunctiva zeigen, wird von Neuem eine kleine Einspritzung gemacht.

Die Einführung der Canülen geschieht auf die bekannte Weise; nur muss besondere Sorgfalt auf deren Sicherung verwendet werden. Die Enden des Fadens, welche die Canüle in dem Gefässe festhalten, müssen zum Kautschukschlauch heraufgezogen und dort festgebunden werden, damit die Canüle nicht ausgleiten kann. Auch ist es vortheilhaft, den Schlauch (am besten aus rothem Kautschuk) in der Richtung des Lymphstroms an die umliegenden Theile noch besonders zu befestigen.

Gerinnungen, welche sich durch das Stocken des Ausflusses kundgeben, treten nur selten ein. Sie werden auf die gewöhnliche Weise mittelst Fliesspapiers, feiner Silberdräthe oder auch durch Zusammenpressen des Schlauchs entfernt. Die Stromesschnelle der Lymphe ist gewöhnlich zu gering, um von selbst die Gerinnsel fortschaffen zu können.

Will man den Druck, unter welchem die Lymphe abgesondert wird, messen, so benutzt man dazu ein Manometer, das mit doppeltkohlensaurem Natron gefüllt ist (Noll).

Zur Sammlung der Lymphe verwendet man Glascylinder, die mit doppelt durchbohrten Korkpfropfen verschlossen sind; durch die eine Oeffnung führt eine knieförmig gebogene Röhre zum Kautschukschlauch der Gefässcanüle; durch die zweite ist ein Glasröhrchen durchgelassen, durch welches die Luft entweicht.

Ist dieser Glascylinder mit Theilungen versehen, so kann er zur directen Messung der Absonderungsgeschwindigkeit benutzt werden. Die Anwendung des Volkmann'schen Hämodromometers zu demselben Zwecke (Weiss) ist unzweckmässig und ungenau.

Soll die gesammelte Lymphe auf ihre Gase untersucht werden, so muss sie unter luftfreiem Quecksilber aufgefangen werden (Hammarsten, Tschirieff).

Die Wahl der Lymphgefässe richtet sich selbstverständlich nach dem jedesmaligen Versuchszweck.

Sollen grössere Lymphmengen ohne Beimengungen von Chylus zur Untersuchung gesammelt werden, so wählt man am besten den Ductus thoracicus nahe seiner Einmündungsstelle in die V. jugularis sinistra. Das Thier wird mehr als 24 Stunden vor dem Versuche ohne Nahrung gelassen; dies nicht nur, um reine Lymphe zu erhalten, sondern auch um während mehrerer Stunden eine sehr reichliche Absonderung dieser Flüssigkeit zu erhalten. Nachdem nämlich schon Magendie bemerkt hat, dass bei fastenden Thieren die Lymphabsonderung grösser ist, als bei gefütterten, hat Lesser eine Methode zur Gewinnung grösserer Lymphmengen an solchen Thieren ausgearbeitet, welche es gestattet, im Verlauf einiger Stunden 300 CC. und mehr Lymphe zu erhalten. Er benutzte bei seinen Versuchen junge kräftige Hunde, die er auf die früher angegebene Weise mit Curare vergiftete.

Die künstliche Athmung wurde ergiebig unterhalten, und bei kühler äusserer Temperatur wurden einige Schlingen des die Luft zuführenden Kautschukschlauchs in warmes Wasser getaucht.

Eine grössere Glascanüle wird in den Ductus thoracicus nahe an seiner Einmündungsstelle in die V. jugularis sinistra eingeführt und auf die bekannte Weise gesichert.

Der Hautschnitt zur Auffindung des Ductus thoracicus wird an der linken Halsseite etwa in derselben Weise wie zur Aufsuchung des dicht neben ihm liegenden Ggl. cervicale inf. geführt. Bei einiger Uebung genügt ein Hautschnitt von etwa drei Fingerbreiten. Die Richtung des Schnittes ist etwas schräg von unten innen nach oben aussen; seine Höhe entspricht etwa dem Verlaufe der Art. subclavia.

Die Präparation dieses Ganges muss sehr sauber gemacht und besondere Sorgfalt auf Vermeidung jeder Verunreinigung der Wunde durch Blut verwendet werden. Sämmtliche auf dem Wege liegenden kleinen Gefässe werden unterbunden und durchschnitten.

Zur Orientirung beim Aufsuchen des Ductus bedient man sich am besten der Vena jugularis ext., die man zu diesem Zwecke auf einen Faden nimmt. Zur Präparation dürfen nur stumpfe Instrumente benutzt werden. Beim Zerreissen des Zellgewebes muss sorgfältig jeder auch kleine Lymphgang (man trifft hier von bedeutenderen den Truncus colli und den Truncus brachialis, s. u.) verschont werden. Bei sauberer Wunde erkennt man sie durch ihre weisslich glänzende durchschimmernde Farbe.

An dieser Farbe wird neben der Vereinigungsstelle der V. jugul. ext. mit der Subclavia auch der Ductus thoracicus bemerkt.

Die Einführung und Sicherung der Canüle geschieht in der bekannten Weise. Wegen der grösseren Zerreisslichkeit der Gefässwände dürfen hier nur dickere seidene Fäden benutzt werden; zu kräftiges Anziehen derselben vermeidet man.

Aus dem Brustgange so hergerichteter Hunde, deren Gliedmaassen vollkommen gelähmt und bei denen in Folge des längeren Fastens Dünndarm und Magen frei von Speisen sind, fliessen während 4—5 Stunden oft ganz beträchtliche Mengen Lymphe aus. Der Abfluss der Lymphe geschieht in fast ununterbrochenem Strome, dessen Geschwindigkeit aber während der Dauer der Beobachtung auf- und abschwankt. Diese Schwankungen lassen eine gewisse Gesetzmässigkeit erkennen,

die von Lesser in folgenden Worten ausgedrückt wird: „Zu gewissen Zeiten ruht die Lymphabsonderung vollständig, allmählich aber erwacht sie und steigt unter mannigfachen Schwankungen auf ihren Höhepunkt, von dem sie in ähnlicher Weise, wie sie emporgestiegen, auch wieder absinkt. Die Steilheit der auf- und absteigenden Curven und ebenso der absolute Werth des Maximums verhalten sich dabei sehr verschieden.“ In vielen Fällen ergoss sich aus dem Ductus über 0,6 C.-C. Lymphe in der Minute.

Solche Thiere sterben nach 4—6stündiger Absonderung der Lymphe, ohne dass sich ausser dem Verluste dieser Flüssigkeit sonst welche nähere Ursache des Todes nachweisen lässt. (In einem der Lesser'schen Fälle unterlag das Thier, nachdem der Lymphverlust etwa $^1/_4$ der, nach dem Körpergewicht berechneten Blutmenge betrug).

Der Ausfluss der Lymphe dauert noch bis zu einer Stunde nach dem Stillstand des Herzens fort, wenn nur durch Unterhaltung der künstlichen Respiration ein fortwährender wechselnder Druck auf den Unterleib ausgeübt wird.

Um den Ausfluss der Lymphe noch bedeutend zu steigern, werden nach dem Vorgange von Genersich und Lesser passive Beugungen und Streckungen in den Gliedmaassen (sogenannte pumpende Bewegungen) des Thieres ausgeführt. Während solche Bewegungen gemacht werden, steigt die Geschwindigkeit des Ausströmens in die Höhe; die ausfliessende Lymphe (Extremitätenlymphe) erhält eine viel klarere Farbe statt des opalisirenden milchigen Aussehens, das die bei der Ruhe abgesonderte Lymphe (Baucheingeweidelymphe) besitzt.

Thiere, die in Folge solcher pumpenden Bewegungen viel grössere Lymphmengen verlieren, gehen merkwürdiger Weise an diesem Verluste doch nicht zu Grunde.

Ganz reine Körperlymphe in nicht unbedeutenden Mengen erhält man auch, wenn man eine Canüle in den Truncus cervicalis einführt. Diesen Lymphstamm sucht man in der mittleren Halsgegend auf (Schnittführung wie zur Aufsuchung der Carotis) zwischen den Musculi sternomastoideus und sternohyoideus. Um ihn sichtbarer zu machen, genügt es, unterhalb der Stelle, wo man ihn aufsucht, auf die Gewebe einen leichten Druck auszuüben.

Wenn auch dieses Gefäss sich sehr gut eignet, sobald es sich nur darum handelt, eine grössere Lymphmenge zu gewinnen, so ist es doch für solche Versuche, wo es darauf ankommt, die Abhängigkeit des Lymphstroms von dem Blutdrucke, von der Spannung in den umliegenden Geweben etc. zu eruiren, aus mehreren Gründen unbrauchbar. Diese Gründe wurden zuerst von W. Tomsa ganz richtig aufgefasst; sie waren es auch, welche diesen Forscher veranlassten, für solche Zwecke andere Lymphgebiete aufzufinden; alle vor ihm in dieser Richtung am Truncus cervicalis oder Ductus thoracicus angestellten Untersuchungen konnten daher für die Frage über die Anfüllung der Lymphwege, über die Abhängigkeit der treibenden Kräfte des Lymphstroms vom Blutdrucke etc. als nicht entscheidend betrachtet werden.

Die Einwände gegen die Beweisfähigkeit der früheren Untersuchungen sieht Tomsa in Folgendem:

1) „Weil die Blutgefässprovinzen, an welchen der Blutdruck geändert, und die Lymphwege, aus denen die Lymphe gesammelt wurde, sich nicht deckten. Ueber-

schreitet der Blutbezirk den der Lymphgefässe, so ist der mögliche Schaden nicht gross, überschreitet dagegen der Lymphbezirk jenen des Blutes, so kann kein beweisender Versuch angestellt werden."

2) „Die Collateralgefässe des Blutstroms in dem benachbarten Reviere machen die Beherrschung des Blutstroms unmöglich, weshalb man nie aus der Druckänderung in dem Arterienstrome auf die in den Capillaren schliessen kann."

3) „Es fehlt der Nachweis, dass die Flüssigkeit, welche man als ein Filtrat aus den Blutgefässen ansehen kann, auch wirklich die Zusammensetzung der Lymphe hat."

Die Mannichfaltigkeit des Ursprungs der aus dem Truncus colli zu gewinnenden Lymphe, indem sie aus Drüsen, Muskeln, Schleimhäuten etc. ihre Zuflüsse erhält, macht diesen Stamm für genauere Untersuchungen über die Lymphbildung ungeeignet.

Tomsa wählte daher für seine Versuche den Lymphstamm des Hodens, weil er hier ein ganz abgegrenztes und das zu untersuchende Lymphgebiet genau deckendes Gefässsystem zur Verfügung hatte. Wenn später zu ähnlichen Zwecken andere Lymphgebiete gesucht wurden, so liegt es hauptsächlich an der relativ geringen Menge der aus dem Hoden zu gewinnenden Lymphe.

Da der Hoden aber in anderem Sinne noch manche Vortheile für Lymphversuche bieten kann, so soll hier eine kurze Beschreibung des von Tomsa benutzten Verfahrens bei seinen Versuchen über die Lymphgefässe dieses Organs gegeben werden.

Tomsa legte den Samenstrang dicht an der äusseren Leistenöffnung bloss. Bei einiger Uebung gelingt die Eröffnung dieses Stranges, dessen Proc. vag. prop. durch das ganze Leben offen bleibt, leicht ohne jeden Blutverlust. Viel schwieriger ist die Isolirung der Blut- und Lymphgefässe am Samenstrange.

Die letzteren verlaufen im oberen Drittheile des Samenstranges an die Blutgefässschlingen angelehnt, aber ausserhalb derselben in eine besondere Bindegewebshülle eingeschlossen. Um sich die Einführung der Canüle zu erleichtern, unterbindet man das ganze Gefässbündel des Plex. pamp. nach vorheriger Isolation und wenn die Lymphgefässe gehörig angefüllt sind, wählt man zur Einführung das passendste unter ihnen.

Als bestimmend für die Circulation im Hoden fand Tomsa nur die Art. spermatica mit ihren Venen. Die Art. deferent. spielt, wie er sich durch Unterbindungsversuche überzeugt hat, nur eine ganz unbedeutende Rolle und kann bei solchen Versuchen vernachlässigt werden. Dagegen müssen zwei Lymphstämme, welche diese Arterie begleiten, um jeden Lymphverlust zu vermeiden, vorher unterbunden werden. Der eine Stamm liegt eng an dem Vas deferens, in dessen Richtung es auch verläuft; der andere grössere Stamm liegt im Mesorchium etwas vom Vas defer. entfernt.

Um Herabsetzung des Blutdrucks zu erzeugen, führte Tomsa mit Hilfe eines Katheters Blasen in das rechte Herz hinein, die er darin aufblies. Viel zweckmässiger lassen sich natürlich jetzt Veränderungen im Blutdruck durch Durchschneidungen und Reizungen des Rückenmarks erzielen.

Wie schon erwähnt, veranlasste die Kleinheit der Lymphmenge, welche aus dem Hoden zu gewinnen ist, die späteren Schüler Ludwig's nach anderen Lymph-

stämmen zu suchen, die bei reichlicherem Ausflusse dieselben Vortheile, was die Beherrschung der Circulations- und Secretionsverhältnisse anbetrifft, bieten.

Die Eigenthümlichkeiten im Baue der Lymphwurzeln im Hoden machten es überdies nicht ganz zulässig, die an diesem Organe gewonnenen Erfahrungen ohne Weiteres auf andere Lymphgebiete zu übertragen.

Zwei Lymphbahnen erwiesen sich für solche Versuche besonders geeignet, der Truncus brachialis (Hammarsten) und ein Lymphstamm der Hinterpfote, welcher neben der V. saphena parva verläuft (Emminghaus).

Die Vorzüge, welche der Truncus brachialis darbietet, bestehen darin, dass seine Wurzeln nur in der Haut und den Muskeln liegen und dass die obere Extremität, welche die weitaus grösste Menge Lymphe für diesen Stamm liefert, es gestattet, sowohl in ihrem Blutstrome Veränderungen anzubringen, als ihre Nerven zu reizen.

Ein kaum in Betracht kommender Nachtheil dieses Truncus besteht darin, dass er Zuflüsse noch aus den Brust- und Nackenmuskeln und vielleicht auch aus dem Wirbelkanal erhält.

Um sich das Auffinden des Truncus brachialis [1]) zu erleichtern, ist es vortheilhaft, ihn vorher durch Injection an der Leiche aufzusuchen und zu präpariren. Zu diesem Zwecke injicirt man in einen Ballen der Vorderpfote mittelst einer Pravaz'schen Spritze, die man mit einer Stichcanüle versieht, in der unten angegebenen Weise eine concentrirte wässerige Lösung von Berlinerblau.

Hat man etwas mehr als einen halben Cubikcentimeter dieser Flüssigkeit eingespritzt, so presst man den Ballen zwischen den Fingern und streicht dann mit der Hand von der Pfote gegen das Schulterblatt aufwärts; während dieses Streichens beugt und streckt man die Extremität mehrmals in ihren Gelenken. Diese Injection wird auf dieselbe Weise mehrmals wiederholt. Entfernt man dann vorsichtig die Haut der Pfote, so sieht man im Unterhautgewebe eine Reihe gefüllter Lymphstränge, die sich alle dem Schulterblatte zu hinziehen. Durch eine Spalte in dem M. cucullaris dringen sie in eine am oberen Theile des Schulterblattes unter dem vordersten Theile dieses Muskels gelegene Lymphdrüse ein. Da die letztere gewöhnlich von dem Berlinerblau nicht mit injicirt worden ist, so befestigt man in einem ihrer Zipfel die Canüle einer Pravaz'schen Spritze und injicirt sie unter geringem Drucke mit derselben Flüssigkeit. Die farbige Flüssigkeit gelangt dann bald durch die Vasa efferentia in ein grösseres Lymphgefäss, das eben den Truncus brachialis darstellt.

Dieser Lymphstamm verläuft ganz nahe der V. transv. colli und ihr parallel zur Eintrittsstelle dieser Vene in die V. jugul. ext. Etwas vor dieser Eintrittsstelle wendet er sich plötzlich nach unten, kreuzt die V. transv. colli, sowie den Plex. brachialis, und verläuft an dem äusseren Rande der Vena jugularis zum Truncus colli, in den er mündet. Der Truncus colli ergiesst sich dann in den Ductus thoracicus.

Die obenerwähnte Drüse liegt zwischen Zweigen der Art. und V. trans. colli.

---

1) Eine genaue anatomische Beschreibung der Lage dieses Lymphstammes, durch eine Zeichnung erläutert, befindet sich in der Abhandlung von Paschutin.

Hat man ein solches injicirtes Präparat zur Orientirung aufbewahrt, so bietet die Auffindung dieses Lymphstammes auch am lebenden Thiere keine Schwierigkeit. Der Hautschnitt zu seiner Aufsuchung wird an dem äusseren Rande der V. jugularis externa geführt. Sämmtliche kleine Blutgefässe müssen sorgfältig unterbunden, die Wunde so viel als möglich vor jeder Verunreinigung durch Blut geschützt werden. Sonst wird es sehr schwer, das durchsichtige Gefäss von dem umliegenden Gewebe zu unterscheiden.

Um beim Aufsuchen des Truncus sich vorerst möglichst entfernt von ihm zu halten, suche man zuerst die tiefer als die V. transversa colli gelegene Arterie derselben Bezeichnung auf, unterbinde sie sammt ihren vier Zweigen doppelt und durchschneide sie; bei dieser Durchschneidung fange man die austretenden Blutstropfen mit einem Schwamme auf.

Sodann ergreife man sehr vorsichtig die V. transversa colli möglichst von ihrem Eintritt in die V. jugularis entfernt und nur an ihrer vorderen Fläche, um das an ihre hintere Wand grenzende Lymphgefäss zu vermeiden; auch dieses Blutgefäss wird doppelt unterbunden und durchschnitten.

Um den Lymphstrang in der durch die Entfernung der Blutgefässe freigemachten Region sichtbar zu machen, zerrt man mit einem stumpfen Instrument das in der Nähe der Einmündungsstelle der V. transvers. colli gelegene Bindegewebe auseinander, während ein Gehilfe pumpende Bewegungen mit der Extremität ausführt und dieselbe in einer Weise mit den Händen streicht, dass die Lymphe den Truncus brachialis stark anfüllt. Man bekommt dann diesen Truncus an seiner Einmündungstelle in den Truncus colli zu Gesicht und führt in ihn auf die bekannte Weise eine feine Glascanüle ein.

Da nicht selten noch einige kleine Lymphstämmchen von der Brust her in den Truncus brachialis sich ergiessen, so ist es rathsam, vor der Einführung der Canüle diesen Truncus nahe am Truncus cervicalis abzubinden, wodurch diese Stämmchen sich prall anfühlen lassen. In diesem Zustand lassen sie sich dann leicht abbinden.

Ein anderes Lymphgebiet, welches sich besonders für das Studium der Abhängigkeit der Lymphabsonderung vom Blutstrom eignet, ist das von Emminghaus an der Hinterpfote des Hundes gewählte. Die Vorzüge, welche dieses Gebiet vor dem Truncus brachialis bietet, bestehen darin, dass es keine Nebenflüsse besitzt und dass die Zahl der Gewebe, welche die Lymphe liefern, hier noch beschränkter ist. Da die Hinterpfote nur einige ganz unwesentliche Zehenmuskeln besitzt, so besteht der betreffende Lymphbezirk aus Knochen und Gelenkapparaten, aus Sehnen der Unterschenkelmuskeln, aus Haut und Unterhautgewebe. Wie schon die Untersuchungen von Ranvier gezeigt haben, beherrscht der N. ischiadicus diesen Lymphbezirk (Durchschneidung des Ischiadicus erzeugt bei Hemmung des Venenabflusses starkes Oedem der betreffenden Gegend). Man kann also hier auch die etwaigen Einwirkungen dieses Nerven auf den Lymphstrom leicht studiren..

Um die Lagerung der Lymphgefässe in der Hinterpfote kennen zu lernen, verfährt man ganz in derselben Weise, wie eben für die Vorderpfote angegeben worden ist. Man injicirt mit Hilfe einer Pravaz'schen Spritze in einen Zehen- oder Sohlenballen unter langsamem Druck Berlinerblaulösung und drückt dann

mit den Fingern diese Flüssigkeit aus dem aufgeblähten Ballen weiter in der Richtung zum Oberschenkel.

Man findet dann nach Abziehung der Haut von dem Fussrücken zahlreiche blaugefärbte Lymphgefässe, welche reiche Netze bilden und endlich in zwei Stämmchen zusammenlaufen, die sich an die V. saphena parva anlegen und in der Kniekehle in eine Drüse münden. Von diesen Stämmchen wird das eine in der Mitte des Fussrückens gebildet, während das andere aus vielen Anastomosen an der äusseren Seite der Zehen in der Sprunggelenkgegend zusammenfliesst. Um eine schöne Füllung dieser Lymphgefässe zu erhalten, ist es vortheilhaft, vor dem Injiciren den Oberschenkel in der Kniegegend zu unterbinden. Ohne diese Vorsichtsmaassregel verläuft sich die Injectionsmasse bis in die Beckengegend hinein.

Um am lebenden Thiere zu diesen, die V. saphena parva begleitenden Lymphgefässen zu gelangen, wird das Thier in der Seitenlage an den drei übrigen Extremitäten befestigt. Die zum Experiment bestimmte Pfote wird auf einem frei hängenden Brettchen durch in die Nägel der Zehen eingestochene Stifte fixirt. Die Pfote muss so gelegt sein, dass sie ihre Sohlenfläche dem Experimentirenden zuwendet und allenthalben frei zugänglich ist.

Der Hautschnitt wird in der Richtung der Vena saphena parva (s. u.) geführt, die man durch eine leichte Compression im unteren Drittheil der Fibula gut zur Wahrnehmung bringt. Durch die freigelegte oberflächliche Fascie wird vorsichtig und mit Vermeidung jeder Blutung bis zur Vene vorgedrungen. Um sowohl dieses Gefäss, als die es begleitenden Lymphstämme besser isoliren zu können, wird jederseits von der Saphena der Bindegewebswulst in toto mit einem Faden umschlungen. Die anschwellenden Gefässe werden dann mit stumpfen Nadeln herauspräparirt, von einander isolirt und in den grösseren Lymphstamm ein Einschnitt zur Einführung einer Canüle gemacht.

Wegen der Enge des Lymphstämmchens kann man hier nur eine feine metallene Canüle verwenden, und um auch diese einsetzen zu können, muss man das Lumen des Gefässes zuerst noch mit Hilfe einer Sonde etwas lüften. Die Sicherung der Canüle geschieht in der oben angegebenen Weise.

Da die Unterbindung der Venen eines der am häufigsten gebrauchten Hilfsmittel beim Studium der Abhängigkeit der Lymphabsonderung vom Blutstrom abgiebt, so ist eine genaue Kenntniss der topographischen Anatomie der Venen dieser Gegend durchaus erforderlich. Eine solche ist auch von Emminghaus geliefert worden.

Die Hinterpfote besitzt drei Venen: die V. saph. parva an der Aussenfläche des Unterschenkels, die V. saph. magna an seiner Innenseite und die V. tibialis ant. an der Vorderseite.

Die erste dieser Venen, gebildet von den vorderen Seitenvenen der Zehen, der Vena interossea externa des Fusses und den kleinen Venen am Sprunggelenk, wird nach Spaltung der Haut und Fascie an der Uebergangsstelle der Wadenmuskeln in die Achillessehne leicht gefunden. Sie muss oberhalb des zu ihr von unten heraufkommenden Zweiges von der Hinterfläche des Fusses unterbunden werden.

Die V. saph. magna setzt sich aus zwei grösseren Aesten zusammen, deren einer aus den vorderen Seitenvenen der Zehen und aus Zweigen der Fusswurzel

und des Sprunggelenks gebildet wird und eine Anastmose an die frühere Vene abgiebt. Der zweite Ast entsteht aus den kleinen Venen der Fusswurzel und der Hinterfläche des Sprunggelenks und des Schienbeins. Man findet diese Vene, wenn man von dem inneren Rand der Patella zu einem Vorsprunge der Tibia schreitet, welcher sich dicht unter dem Knie an seinem oberen Rand befindet; hinter diesem Vorsprung legt man die Vene mittelst eines Längschnitts durch die Haut bloss.

Die Vena tibialis antica kommt häufig doppelt vor und wird von den Zwischenknochenvenen der Innenseite des Fusses gebildet. Sie ist tief und hart am Knochen gelegen. Man findet sie durch einen Längsschnitt, der dem hinteren Rand des M. tibialis antic. dicht am Sprunggelenk entspricht.

Unterbindung von Blutgefässen, Veränderungen im Blutdrucke, Reizungen und Lähmungen von Nerven und andere Eingriffe, welche beim Studium der Lymph-Bewegung in so ausgedehntem Maasse sowohl von den Schülern Ludwig's, als auch von Weiss, Nasse u. A. ausgeführt worden sind, geschehen nach den allgemeinen Regeln.

Um die passiven Bewegungen der Extremitäten mit grösserer Regelmässigkeit und Bequemlichkeit ausführen zu können, verband sie Ludwig mit dem Rade einer Gasmaschine. Durch die Nägel der Zehen wurden Haken befestigt, durch welche eine Schnur durchgezogen war, das einerseits über eine Rolle lief und mit einem Gewicht endete, andererseits über drei Rollen zu einem Fortsatz ging, der an einer Stufenscheibe angebracht wurde, über welche die Schnüre der Transmissionswelle liefen. Hat man keine solche Gasmaschine zur Hand, so kann man das letztere Ende der Schnur mit dem Arm des Gréhant'schen Athmungs-Apparates (Siehe die Taf. IX) verbinden. Bewegungen des Rades, wie sie bei künstlicher Athmung gemacht werden, erzeugen in der mit ihm verbundenen Extremität regelmässige Beuge- und Streckbewegungen.

Die gegenseitige Stellung der Rollen, über welche die Schnur zum Rade läuft, hängt natürlich von der Lagerungsweise des Thieres ab und wird leicht gefunden.

Zum Schluss sollen hier noch einige Injectionsversuche angeführt werden, welche hauptsächlich für die Erläuterung des Ursprungs der Lymphwurzeln und der Bedeutung der Bewegungen auf die Aufsaugung von den serösen Flächen aus für Vorlesungszwecke sehr lehrreich sind.

Um den Ursprung der Lymphgefässe aus den mit zarten Zellenhäutchen ausgekleideten Hohlräumen, welche von den Lücken zwischen den Bindegewebsfibrillen gebildet werden, am einfachsten zu zeigen, werden die Lymphgefässe durch directe Einstiche in die Gewebe injicirt. Der Fehler der Imbibition wird ausgeschlossen, wenn man zur Injection entweder der Diffusion nicht fähige Stoffe oder solche Substanzen verwendet, welche durch Berührung mit den in den Geweben vorhandenen Salzlösungen niedergeschlagen werden.

Als solche Injectionsmassen gebraucht man mit Nutzen Carmin, Berlinerblau, Orleans, Zinnober, Alkannin etc. Lösungen von Berlinerblau sind für die hier in Betracht kommenden Zwecke (mit Ausnahme bei Injection von Aponeurosen) die am häufigsten gebrauchten und auch die bequemsten Injectionsflüssigkeiten. Zum Injiciren greift man am einfachsten zu den so verbreiteten Pravaz'schen Spritzen, welche man mit spitzen engen Canülen versieht. Das Injiciren geschieht in der

Weise, dass man die Canüle unter sehr spitzem Winkel einsticht und dann die Flüssigkeit unter geringem Druck allmählich in das Gewebe spritzt; dabei drückt man mit dem Daumen der linken Hand auf die Einstichstelle, um das Ausfliessen der Flüssigkeit durch die Stichöffnung zu verhindern. Gelingt die Injection, so sieht man nach allen Seiten von der Stichöffnung die farbige Masse in Strahlen den Fibrillen entlang emporschiessen. Spritzt man die Stelle mit destillirtem Wasser ab, so sieht man schon mit blossem Auge die als Lymphwurzeln dienenden Lücken zwischen den Fibrillen fein injicirt.

Will man durch solche Einstiche auch grössere Lymphstämme injiciren, so wählt man am besten den Hoden, die Fingerballen, die Aponeurosen etc. Man sieht dann bei fortgesetzter Injection nach der angegebenen Weise auch grössere Lymphstämme farbig injicirt hervortreten. Ausser den schon oben angeführten Lymphstämmen erhält man z. B. bei Injection des Hodens von dem Gewebe aus sehr leicht die Füllung der Lymphgefässe in der Beckenhöhle mit der farbigen Flüssigkeit.

Für die Injection der Aponeurosen eignen sich nach Genersich's Erfahrung wässerige Lösungen von Farbstoffen sehr wenig; dagegen leistete ihm in Terpentinöl gelöstes käufliches Alkannin als Injectionsmittel ausgezeichnete Dienste. Die Gegenwart von Terpentinöl verhindert jede Imbibition in den mit Wasser getränkten Geweben; diese Injectionsmasse verbindet also mit der ausserordentlichen Feinheit und Durchdringlichkeit den Vortheil körniger Farbstoffe und kann nur in wirkliche Kanäle sich verbreiten.

Man wählt für solche Injectionen am besten die dem Muskel zugewendete Fläche der Aponeurose, welche man vorher sammt Haut und etwa angewachsenen Muskeln herausschneidet, auf ein Brett spannt und dann sorgfältig mit einer Scheére vom weichen Bindegewebe befreit. Nachdem einige Probestiche gelungen sind, schlägt Genersich vor auf die Aponeurose eine Glasplatte zu legen, welche mit einer Furche für die Spitze der Injectionscanüle versehen ist und die von einem Gehilfen sanft auf die Aponeurose gedrückt wird, während man mit der Injection fortfährt. Die Anwendung dieser Glasplatte ist für die Erzielung einer gleichmässigen und ausgedehnten Injection durchaus nothwendig. Zur Wahl der Präparate empfehlen sich der untere Theil der Fascia lata, das Centrum tendineum, die Fascia antibrachialis, Cruralis, das äussere Blatt der Rectusscheide etc.

Noch lehrreicher als diese künstlichen Injectionen sind die sogenannten natürlichen, wo die farbige Flüssigkeit auf die aponeurotischen Flächen nur aufgegossen wird und dann durch die von Recklinghausen und von Ludwig und Schweiger-Seidel entdeckten Oeffnungen zwischen den sie auskleidenden Epithelialzellen in die Lymphwurzel eindringt, entweder von selbst oder unter Beihilfe von Spannungen und Entspannungen, denen man diese Aponeurosen unterwirft.

Am Centrum tendineum erreicht man solche Injectionen auf folgende von Ludwig und Schweiger-Seidel angegebene Weise.

Man halbirt ein Kaninchen in der Mitte des Bauches, nachdem man den Oesophagus und die grossen Gefässe durch eine die Wirbelsäule umgreifende Ligatur zusammengeschnürt hat. Magen und Darm werden entfernt und die obere Körperhälfte wird mit dem Kopfe nach unten mittelst durch die Bauchdecken durchzogener Fäden aufgehängt. (Die Leber wird vermittelst eines um die Gal-

lenblase geschlungenen Fadens etwas von dem Diagphragma emporgehoben.) Schüttet man nun die Injectionsmasse in die Concavität des Zwerchfells, so findet man nach einiger Zeit auf seiner convexen Seite eine zierliche Injection der Lymphgefässe. Diese Injection gelingt aber in noch viel höherem Grade, wenn man, statt das Zwerchfell in der Ruhelage zu lassen, dasselbe durch rhythmische Lufteinblasungen in die Lungen in regelmässigen Intervallen an- und abspannt.

Denselben Sinn hat folgender von Genersich angegebene Versuch. Spannt man eine ausgeschnittene Aponeurose mit der Muskelseite nach oben, (nachdem man sorgfältig das Bindegewebe von ihr entfernt hat), auf die breite Oeffnung eines Trichters, giesst auf dieselbe eine Injectionsmasse aus und verbindet das schmale Ende des Trichters mit einem Kautschukschlauch, so kann man durch rhythmische Lufteinblasungen. durch den letzteren auch die Aufsaugung der Injectionsmasse beträchtlich fördern.

Auch für diese Injection ist nur Alkannin in Terpentinöl oder Aether gelöst mit Erfolg zu verwenden. Wegen der Feinheit der Oeffnungen der Lymphspalten in den Aponeurosen gegenüber den im Centrum tendineum können körnige Farbstoffe von der Oberfläche aus in sie nicht eindringen.

Noch belehrender ist die von demselben Autor ausgeführte natürliche Injection der Aponeurosen, bei welcher sie in ihrer natürlichen anatomischen Lagerung gelassen werden und ihre An- und Entspannungen durch passive Bewegungen der Extremitäten erreicht werden. In dieser Form ist der Versuch für Vorlesungszwecke besonders instructiv, wenn man gleichzeitig eine Canüle in den Ductus thoracicus des seit 36—50 Stunden fastenden Hundes einsetzt. Spritzt man einem solchen Thiere eine terpentinige Alkanninlösung unter die Aponeurosen der beiden unteren Extremitäten (z. B. unter die Fascia lata) in der Weise, dass die Flüssigkeit mit ihrer dem Muskel zugekehrten Fläche in Berührung kommt, und führt dann regelmässige Beugungen und Streckungen derselben aus, so erscheint die farbige Flüssigkeit nach 15—20 Minuten im Ductus thoracicus. Man findet auch gleichzeitig sehr schöne Injectionen der umliegenden Fascientheile.

Diese Injection gelingt nur auf sehr kurzen Strecken und in viel geringerem Maasse, wenn die Flüssigkeit mit der der Haut zugekehrten Oberfläche der Aponeurosen in Berührung gebracht wird. Nie reicht dabei die farbige Flüssigkeit über die nächstliegenden kleinen Lymphgefässe hinaus; bekanntlich ein Beweis, dass für die Füllung der Hautlymphgefässe die Muskelbewegungen von keinem bemerkbaren Einflusse sind.

Die meisten der in diesem Paragraphen mitgetheilten Versuche eignen sich vorzüglich für Vorlesungszwecke. Als besonders lehrreich ist folgende Combination einiger dieser Versuche zu empfehlen.

Ein Hund, der etwa 2—3 Stunden vor der Vorlesung mit fettarmer Speise gefüttert wurde, wird curarisirt und in seinen Ductus thoracicus eine Canüle befestigt. Wird das Thier in Ruhe gelassen, so fliesst aus der Canüle die etwas milchig aussehende Eingeweidelymphe reichlich ab.

Die durch die Lufteinblasungen erzeugten Thoraxbewegungen befördern diesen Ausfluss in hohem Grade. Werden nun an dem Hunde pumpende Bewegungen der Extremitäten in der mehrfach erwähnten Weise gemacht, so verliert die Lymphe sehr bald ihr opalisirendes Ansehen, — man erhält die Gewebelymphe.

Dieser Versuch kann mehrmals mit demselben Erfolg wiederholt werden.

Spritzt man nun unter die Aponeurosen z. B. unter die Fascia lata der beiden Extremitäten eine terpentinige Alkanninlösung und setzt die pumpenden Bewegungen fort, so erscheint nach einiger Zeit die farbige Flüssigkeit in der ausfliessenden Lymphe oft in solcher Menge, dass sie geradezu die Canüle verstopft.

Das Vergiften der Thiere mit Curare ist für das Gelingen des Versuches sehr förderlich und zwar, wie es scheint, nicht nur wegen der directen Beeinflussung der Lymphabsonderung, sondern weil es auch auf den Mechanismus der Aufsaugung im Darme (Darmzotten?) sehr eingreifend wirkt. Die von diesem Gifte erzeugte Lähmung der willkürlichen Muskeln giebt noch die Möglichkeit an die Hand, evident zu beweisen, dass die Beförderung der Lymphe hauptsächlich durch Veränderungen des Spannungszustandes der Sehnen und Aponeurosen bei den Muskelbewegungen und nicht etwa durch active Contraction der Muskeln selbst erzeugt wird.

Das dem Versuchsthiere gegebene Futter muss möglichst fettfrei sein, da sonst die Eingeweidelymphe in zu grossen Mengen anhaltend abgesondert wird.

Der Goltz'sche Versuch über den Einfluss des centralen Nervensystems auf die Aufsaugung lässt sich auch mit Leichtigkeit bei Demonstrationen wiederholen; seine Deutung darf aber nicht bis zur Annahme eines directen Einflusses des Gehirns in die Aufsaugungskräfte gehen, da der indirecte, durch die Beherrschung des Gefässtonus dazu vollkommen ausreichend ist.

Der Versuch wird am besten an mit Curare bis zu vollständiger Bewegungslosigkeit gelähmten Fröschen angestellt. Nachdem zwei Fröschen das Herz blossgelegt, dem einen auf die bekannte Weise das Gehirn und Rückenmark zerstört wurde (zur Vermeidung von Blutverlust wird ein Holzstift im Wirbelkanal gelassen), werden sie an den Schnauzen aufgehängt. Beiden wird die gleiche Menge einer Kochsalzlösung (etwa ½ %) in die Lymphsäcke des Rückens eingespritzt und mit Klemmpincetten die Stichöffnungen der Haut geschlossen. Schneidet man nun bei beiden Fröschen die Aortae an, so beobachtet man bei dem Frosche mit erhaltenem Hirn ein schnelles Ausfliessen des mit der Kochsalzlösung vermengten Blutes bis zur vollen Entleerung des betreffenden Lymphsackes, während bei dem hirnlosen Frosch der Inhalt des Sackes intact bleibt. Wollte man die Geschwindigkeit des Ausfliessens aus dem Herzen bei beiden Fröschen auch durch genaue Messungen vergleichbar machen, so würde es dazu genügen, in die Aortae Canülen zu befestigen und die austretende Flüssigkeit in calibrirte Probirröhrchen einfliessen zu lassen.

§ V. Beobachtung der Bewegungen im Verdauungstractus.

Die methodischen Hilfsmittel, welche der experimentellen Physiologie zum exacten Studium der im Verdauungstractus vor sich gehenden Bewegungen zu Gebote stehen, sind äusserst gering.

Dies rührt hauptsächlich von den vielen Eigenthümlichkeiten her, welche die glatten Muskelfasern, von denen der weitaus längste Theil dieses Tractus beherrscht wird, darbieten: Eigenthümlichkeiten, die erst in der letzteren Zeit, Dank den schönen Untersuchungen Engelmann's, näher erkannt worden sind. Diese Eigenthümlichkeiten der glatten Muskelfaser bedingen einerseits in den zu Versuchszwecken blossgelegten Darmtheilen eine Reihe ganz uncontrolirbarer Bewegungen,

andererseits erschweren sie die Deutung der durch willkürlich gesetzte Eingriffe an den Darmwänden zu beobachtenden Reactionen.

Nur der Beginn des Darmrohres bis zur Speiseröhre gestattet ein näheres Studium der Mechanismen, welche die Fortbewegung der Speisen von der vordern Mundhöhle aus in den Magen bewirken. Hier kann man die Beobachtungen sogar zum grossen Theil am Menschen selbst entweder durch blosse Inspection, oder mit Zuhilfenahme der laryngoskopischen Technik anstellen. Auch an Thieren bieten Beobachtungen dieser Art keine besonderen Schwierigkeiten. Das Aufsperren der Mundhöhle und Hervorziehen der Zunge gestattet auch bei grösseren Thieren (besonders leicht bei Katzen) den Schlund zu inspiciren und ihn entweder direct auf mechanischem Wege, durch Einführung von fremden Körpern, Speisestücken etc. zu reizen, oder seine Bewegungen während der Reizung von verschiedenen mit ihm in functioneller Beziehung stehenden Nerven zu verfolgen. Entfernungen der Epiglottis, Durchschneidungen einiger zu den Schlundmuskeln gehender Nerven, um die darauf etwa eintretenden Störungen der Schlundbewegungen zu verfolgen, lassen sich auch ohne weitere Schwierigkeiten ausführen.

Grösseres operatives Eingreifen verlangt das Studium der Speiseröhrenbewegungen. Dieses geschieht am besten dadurch, dass man am Halse durch einen den linken Rand der Trachea entlang gehenden Hautschnitt den Oesophagus blosslegt und seine Bewegungen beobachet. Die Trachea sammt Larynx wird bei sorgfältiger Schonung der Nn. laryngei etwas nach rechts, der Sternomastoideus sammt der Carotis und den sie begleitenden Nerven nach links geschoben.

Die Bewegungen des Oesophagus werden entweder durch elektrische Reizung der reflectorisch auf ihn wirkenden Nerven des Schlundes (Laryngeus sup. Bidder, Waller und Prevôt oder Glossopharyngeus Chauveau), oder durch mechanische Reizung der Schleimhaut des Schlundkopfs mittelst Einführung von Speisestücken erzeugt.

In diesem letzteren Falle lässt sich auch der Mechanismus der Fortschiebung des Bissens in der Speiseröhre beobachten.

Ein sehr zweckmässiges Verfahren zu letzterem Zweck hat mit bestem Erfolg neuestens Mosso ersonnen. Um die Frage zu entscheiden, ob die peristaltischen Bewegungen des Oesophagus abhängen von einer successiven Uebertragung der Bewegungsimpulse von den sich contrahirenden höheren Theilen auf die unmittelbar unter ihnen liegenden (Wild) oder von einem Reflexact, der von den sensiblen Nerven des Pharynx ausgelöst und durch centrale Nervenpartien auf die, die Speiseröhre beherrschenden motorischen Nerven übertragen wird, verfuhr Mosso auf folgende Weise. Er schnitt aus dem blossgelegten Oesophagus auf verschiedenen Höhen kleinere oder grössere Stücke aus, so dass auf der erwünschten Strecke (oft von der Höhe des Larynx bis zum Sternum) eine vollkommene Continuitätstrennung entstand. Führte er sodann in den unteren Abschnitt der Speiseröhre, der mittelst eines durchgezogenen Fadens in seiner normalen Lage festgehalten wurde, ein hölzernes olivengrosses Kügelchen ein und reizte dabei entweder mechanisch den Schlundkopf oder elektrisch den N. laryngeus superior, so traten auch in diesem Theile des Oesophagus peristaltische Bewegungen ein, welche die Kugel in den Magen beförderten.

Ebensowenig war eine Zusammenschnürung der Speiseröhre über einem in sie eingeführten Holzklötzchen im Stande, bei Reizung des Schlundkopfes die über den ganzen Oesophagus sich erstreckenden peristaltischen Bewegungen irgendwie zu hemmen.

Zu einer Vorlesungsdemonstration eignet sich der Mosso'sche Versuch, besonders in seiner ersteren Form, ganz vorzüglich.

Die Beobachtung der Bewegungen des Magens und des Darms erheischt nothwendig die Eröffnung der Bauchhöhle. Diese Eröffnung ist aber von einer ganzen Reihe von Veränderungen in den Darmwänden begleitet, welche im höchsten Grade die Reinheit der Beobachtung trüben. Zuerst wirkt eine solche Eröffnung sehr eingreifend auf die Circulation in den Eingeweidegefässen (Ludwig und E. Cyon). Der Zustand dieser Gefässe übt aber, wie besonders die zahlreichen Untersuchungen von Basch und S. Mayer gelehrt haben, einen ganz directen Einfluss auf die Bewegungen des Darms, besonders indem er seine Reactionsfähigkeit gegen Erregungen einiger Nerven (Splanchnici und Vagi) bedeutend modificirt.

Zu dieser störenden Folge, welche die Eröffnung der Bauchhöhle sofort nach sich zieht, kommen noch andere hinzu, welche durch den Contact der Därme mit der äusseren Luft entstehen, nämlich das Eintrocknen und die Abkühlung. Das Eintrocknen, obgleich es zuerst das die Därme umkleidende Peritoneum viscerale ergreift, ist darum nicht minder störend, denn in sehr kurzer Zeit muss es auch auf die Muscularis sich geltend machen. Die Abkühlung wirkt sowohl direct die Darmwände schädigend, als auch indem es das Lumen der Darm- und Mesenterialgefässe afficirt. Je empfindlicher das Thier gegen solche Eingriffe ist, um so untauglicher ist es für derartige Versuche. Es war daher ganz verfehlt, wenn man früher bei Untersuchungen über die Darmbewegungen dem Kaninchen den Vorzug gab, und mit Recht hat Engelmann bei seinen Versuchen hauptsächlich Hunde und Katzen gewählt. Die spontan ohne jede nachweisliche Ursache entstehenden und vergehenden Bewegungen sind bei diesen letzteren Thieren im Gegensatze zu Kaninchen nur selten und auch nur kurze Zeit zu beobachten; somit sind sie um eine der unangenehmsten Störungen ärmer.

Sanders-Ezn versuchte einigen der aufgezählten Uebelständen dadurch abzuhelfen, dass er die entblössten Därme während der ganzen Versuchsdauer unter eine schwache Kochsalzlösung von 38° C tauchte. Dieser Handgriff ist für viele Versuche gewiss sehr brauchbar; die Art aber, wie ihn van Braam-Houckgeest in seiner, unter Sander-Ezn's Leitung gemachten Untersuchung ausgeführt hat, lässt manche Bedenken zu. Braam-Houckgeest versenkte das am Brett befestigte Kaninchen ganz oder nur theilweise in einen mit schwacher Kochsalzlösung gefüllten Kasten; bei voller Versenkung wurde durch den Einsatz einer Trachealröhre für das ungehinderte Athmen gesorgt. Dieses Untertauchen des Thieres während einiger Stunden muss sowohl auf sein Gefäss- als auch auf sein Nervensystem von ganz eingreifendem Einflusse sein, und, wie der Verfasser selbst mittheilt, vertragen es die Thiere nur einige Stunden. Das Thier aber bis zum eintretenden Tode als ein gesundes zu betrachten, ist gewiss unstatthaft; denn man müsste dann die unmögliche Annahme machen, dass das während mehrerer Stunden für dasselbe ganz indifferente Bad plötzlich eine momentan tödtende Wirkung erlangen könne.

Man kann aber die schützende Wirkung der erwärmten Kochsalzlösung ($^1/_2$ %) ohne Befürchtung vor schädlichen Folgen benutzen, wenn man statt das ganze Thier nur die Därme mit ihr in Berührung bringt. Nachdem die Bauchwände in der Linea alba vom Proc. xiphoideus bis dicht zur Symphysis pubis aufgeschnitten wurden, zieht man durch die beiden Wundränder je zwei Fäden durch und hebt sie mittelst derselben empor; dasselbe macht man mit den beiden Wundwinkeln. Auf diese Weise kommen die Därme in eine Art Mulde zu liegen, und man kann sie beliebig mit einer ganz flachen Schicht der erwähnten Lösung bedecken. Es wäre auch eine Leichtigkeit, um das fortwährende Wechseln der sich abkühlenden Flüssigkeit zu ersparen, einen continuirlichen Strom derselben zu erzeugen, der von dem oberen zum unteren Wundwinkel ginge.

Um über die Bewegungen der Därme genauere Aufschlüsse zu erhalten, ist auch der Versuch gemacht worden, diese Bewegungen durch schreibende Vorrichtungen graphisch zu verzeichnen.

So wurden von Legros und Onimus und von Engelmann Gummiballons in den Darmkanal durch Fistelöffnungen eingeführt, welche die Ersteren mit einem Manometer, der Letztere mit einem Tambour enregistreur von Marey in Verbindung setzten.

Dieses Verfahren, welches ausserdem noch den Vortheil bietet, dass es bei sonst geschlossener Bauchhöhle zu experimentiren gestattet, ist aber nicht bei allen Versuchen über die Darmbewegungen ohne Weiteres zulässig. Handelt es sich, wie in den Versuchen von Engelmann und van Brackel, darum, die Fortpflanzungsweise der Contractionswellen der glatten Muskelfaser zu verfolgen, so ist die Anwendung eines solchen Enterographen (Engelmann) nicht nur zulässig, sondern auch sehr nützlich. Der in einer circumscripten Stelle der ruhenden Darmwand durch directe Reizung erzeugte Bewegungsvorgang lässt sich an der erhaltenen Zeichnung, sowohl der Richtung als dem zeitlichen Ablaufe nach, gut erkennen. Anders ist es aber, wenn mit Hilfe der durch eine Fistelöffnung in den Magen oder Darm eingeführten Blase Aufschlüsse über die Wirkungen von Nerven erhalten werden sollen, die so ausgedehnte Wirkungskreise wie die Vagi und Splanchnici besitzen. Hier ist das Verfahren aus mehreren Gründen sehr bedenklich, unter Anderem darum, weil Luftverdünnungen und Verdichtungen in der Blase durch ganz entgegengesetzte Vorgänge oberhalb oder unterhalb der Darmstelle, wo sie eingesetzt ist, veranlasst werden können.[1])

In den Fällen, wo die Verwendung dieses Verfahrens ohne Bedenken statthaft ist, wählt man nach Engelmann's Vorgang zur Einführung in den Darmkanal Hohlsonden, die etwa nach der Art der von Chauveau und Marey für die Registrirung der Bewegungen der Herzhöhlen angewendeten gebaut sind.

Auf welche Weise die Beobachtung der Darmbewegungen auch stattfinden mag, jedenfalls muss, wenn Reizung der Splanchnici vorgenommen werden soll, die Präparation dieser Nerven auf die im Cap. II beschriebene Weise in der Thoraxhöhle stattfinden. (Die Ludwig'schen Elektroden zur Reizung tiefliegender Nerven eignen sich für solche Fälle ganz vorzüglich.)

---

1) Die Benutzung dieses Verfahrens für das Studium der Reizbarkeit der Speiseröhre (Mosso) ist aus leicht einzusehenden Gründen von diesen Bedenken frei.

Auch wenn die Reizung der Splanchnici nur zum Zweck einer Demonstration ausgeführt wird, ist es sicherer, sich nicht dazu verleiten zu lassen, den Nerven von der Bauchhöhle aus aufzusuchen, da der Erfolg der Reizung wegen der dabei nicht zu umgehenden Misshandlung der Baucheingeweide immer zweifelhaft wird.

Seitdem S. Basch's Untersuchungen festgestellt haben, dass der Splanchnicus nur durch seine Einwirkung auf den Blutlauf der Därme deren Bewegungen zu hemmen im Stande ist und dass diese hemmende Wirkung nur bei gewissen Zuständen der Blutfülle der Därme sich überhaupt äussern kann, ist man durch Erzeugung dieser günstigen Umstände auch in den Stand gesetzt, den Erfolg der Splanchnicusreizung viel sicherer zu machen.

Ein ausgezeichnetes Hilfsmittel für das Gelingen dieser Reizung hat v. Basch in der Nicotinvergiftung gefunden.

Nach den Untersuchungen von ihm und Oser ruft dieses Gift [1]) einige Minuten nach seiner Einführung ins Blut heftige peristaltische Bewegungen hervor. Da während dieser Bewegungen die Darmgefässe weit sind und das Gefässnervensystem seine hohe Erregbarkeit noch intact erhalten hat, so sind damit die günstigsten Bedingungen für das Auftreten der hemmenden Wirkung der Splanchnicuserregung gegeben. Man präparirt bei einem Hunde (nur dieses Thier, dessen Darm keine spontanen Bewegungen zeigt, eignet sich für diese Versuche) den N. Splanchnicus, bringt ihn auf die Elektroden, entblösst die Därme und spritzt nun die Nicotinlösung ein. Nach einigen Minuten entstehen dann die peristaltischen Bewegungen. Reizt man in diesem Moment den Splanchnicus, so erhalten die Därme zuerst einen heftigen Bewegungsanstoss, als Ausdruck der motorischen Wirkung der Splanchnicusfasern auf die Darmmuskulatur; bald tritt aber in Folge der Contraction der kleinen Gefässe ein Stillstand dieser Bewegungen ein, dem in kürzerer oder längerer Zeit auch eine Erschlaffung der Darmwände nachfolgt. Das zeitliche Auseinandergehen der Beruhigung der Darmwände und deren Erschlaffung rührt nach Basch daher, dass die hemmende Wirkung sich zuerst in der Längsmuskulatur kundgibt — also Aufhören der Ortsbewegungen des Darms, — während die Ringsmuskulatur in Folge der vom Splanchnicus erhaltenen motorischen Impulse noch heftig contrahirt bleibt. Erst später ergreift die hemmende Wirkung auch diese letztere, und dann entsteht vollständige Erschlaffung der Darmwand.

Um den Erfolg dieses Versuches noch constanter zu machen, ist es rathsam, den Hund ein paar Stunden vor der Operation zu füttern; denn die in der Resorption begriffenen Därme zeigen viel häufiger die vom Nicotin bedingten peristaltischen Bewegungen.

An Fröschen lässt sich der Einfluss der Nerven auf die Darmbewegungen nach Goltz in folgender Weise zeigen. Entfernt man bei einem Frosch Sternum, Herz, Lungen und Leber, sodass der Darmtractus frei zur Beobachtung vorliegt, hängt ihn an der Schnauze auf und giesst ihm in den Schlund Wasser ein, so füllt sich sowohl die Speiseröhre als der Magen mit dieser Flüssigkeit prall an. Zerstört man jetzt dem Frosch das Hirn und Rückenmark, so contrahiren

1) Das Gift muss zuerst auf seine Wirkungsfähigkeit geprüft werden. Je heller seine Farbe ist, um so passender ist es für den hier in Betracht kommenden Zweck.

sich diese Theile sehr heftig, die Flüssigkeit wird aus ihnen ausgepresst und weitere Versuche, dieselben durch Eingiessen in den Schlund von Neuem zu füllen, bleiben noch während einiger Stunden nach der Enthirnung erfolglos.

Durchschneidung der beiden Vagi versetzt die betreffenden Darmstücke in denselben Zustand wie die Enthirnung [1]). Man kann diesen Versuch auch in der Weise demonstriren, dass man zwei Frösche, die man auf die besagte Weise zugerichtet hat, nebeneinanderhängt, dem einen das Nervensystem intact lässt, den anderen enthirnt und dann beiden durch Eingiessen in den Schlund Flüssigkeit in den Magen zu bringen sucht.

Am Schlusse dieses Paragraphen wird es wohl am Platze sein, einige Versuchsanordnungen für die Beobachtung der Flimmerbewegungen zu geben, welche sowohl für deren Studium als für Demonstrationszwecke sehr zweckmässig sind.

Einen sehr empfehlenswerthen Apparat, um die Schnelligkeit der Flimmerbewegung zu messen und gleichzeitig den Einfluss der verschiedenen Temperaturen auf diese Schnelligkeit zu bestimmen, hat Calliburcès angegeben. Dieser Apparat ist auf Taf. XXXVI Fig. 1. abgebildet [2]) und ist folgendermaassen eingerichtet.

Ein cubischer Glaskasten *C B* trägt in seinen beiden gegenüberstehenden Wänden eine sehr leicht drehbare Achse *R* aus Aluminium, die in einen sehr leichten hohlen Glascylinder eingeschmolzen ist. Diese im ganzen 73 Mgr. wiegende Rolle trägt an ihrer Seite einen Zeiger *F*, der auf den in der Glaswand eingeätzten getheilten Kreis zeigt. Das Centrum dieses Kreises entspricht der Berührungsstelle der Achse mit der Glaswand. Mittelst der Micrometerschraube *M* lässt sich in einer constanten Entfernung von der Rolle die ebene Platte *E H G* einstellen, auf welcher ein Stück Rachenschleimhaut *S* vom Frosche derart befestigt wird, dass die sich bewegenden Wimpern gegen den Glascylinder schlagen und ihn drehen.

Die übrigen an dem Apparate angebrachten Einrichtungen dienen zur Durchleitung eines Wasserstroms von beliebiger Temperatur u. s. w. und sind ohne Beschreibung verständlich.

Ist die Schleimhaut des Rachens frisch dem Thiere entnommen und befeuchtet man sie mit einer schwachen Kochsalzlösung, so beobachtet man die durch Bewegung des Zeigers leicht zu verfolgende Drehung der Rolle sehr hübsch und kann an den Theilungen des Kreises die Geschwindigkeit dieser Drehung ablesen.

Eine speciell für die Untersuchung der Wirkung elektrischer Ströme auf die Flimmerbewegungen sehr passende Einrichtung haben Rollet und Kistiakowsky getroffen. Sie besteht aus einer kleinen Glasplatte etwa von der Form der für mikroskopische Präparate benutzten Objectträger. Durch Ankittung von vier Glasstreifen nahe an den Rändern dieser Platte wird sie zu einem Glastrog verwandelt; in bestimmter Entfernung von einander sind durch diese Platte zwei Löcher gebohrt, in welche von unten kommende mit Schweinsblasenstücken verschlossene

---

1) Die Contraction der Speiseröhrenwände nach Durchschneidung ihrer Nerven erwähnt übrigens schon Magendie. In seinem Précis élem. d. physiol. 5. edit. Bruxelles 1836 p. 271 sagt er: „Les fibres soustraites à l'influence nerveuse se raccourcissent avec une certaine force et le canal se trouve dans un état intermédiaire de la contraction et du relâchement."

2) Das Cliché des sonst nirgends abgebildeten Apparats verdanke ich dem Prof. Ludwig, der es von Calliburcès erhalten hat.

Glascylinder durchgelassen sind. Diese Glascylinder sind mit Hühnereiweiss gefüllt und tauchen in Gefässe aus amalgamirtem Zink, welche mit concentrirter Lösung von reinem Zinkvitriol gefüllt sind und als unpolarisirbare Elektroden fungiren. Auf die Glasplatte wird die frische Rachenschleimhaut eines Frosches mittelst in die Schweinsblasenstücken eingestochener Hornstifte befestigt und auf dieselbe ein kleiner kegelartiger Siegellacktropfen aufgelegt, der von den Cilien in einer Richtung fortbewegt wird. Dieses Siegellackkügelchen ist an einem nicht gespannten Coconfaden befestigt, der mittelst eines Hakens von dem Arm eines Stativs herunterhängt.

Auch diese Vorrichtung kann zur Messung der Stärke der Flimmerbewegung benutzt werden, indem man die in der Zeiteinheit von dem als Signal dienenden Siegellacktropfen durchlaufene Strecke bestimmt.

Will man die Flimmerbewegung nur veranschaulichen, so genügt es, die Rachenschleimhaut auf einem Korkbrettchen auszubreiten und auf dieselbe ein kleines, an einem Coconfaden herunterhängendes Siegellackkügelchen frei aufzulegen.

Auch ein leichtes Korkstückchen, das man, um eine glatte Oberfläche zu erhalten, in ein Stückchen Froschhaut einwickelt und auf eine so ausgebreitete Rachenschleimhaut auflegt, wird von den Wimpern mit grosser Geschwindigkeit bewegt. Die Grösse dieser Geschwindigkeit kann dabei veranschaulicht werden, wenn man an dies Korkstückchen eine kleine Fahne aus Papier befestigt und dieselbe an einer mit Theilungen versehenen Scala vorbeistreifen lässt (Bowditch).

Ein sehr eleganter, auch von Bowditch herrührender Vorlesungsversuch, um die Stärke der Flimmerbewegungen zu zeigen, besteht in Folgendem: Ein kräftiger Frosch wird etwa unterhalb der vorderen Extremitäten halbirt und der Vordertheil nach Zerstörung des Marks auf einen Glasstab, der durch die Speiseröhre geht, hinaufgeschoben. Man beobachtet dann nach und nach eine ganz allmähliche Verschiebung des Froschtheils auf dem Glasstabe, die in dem Sinne der Flimmerbewegungen der Rachenschleimhaut geschieht. Um das Anhaften der Kiefer an dem Glasstab zu vermeiden, ist es vortheilhaft, sie mit einer Scheere zu entfernen. Auch ist es für das Gelingen des Versuches förderlich, den Glasstab mit einer schwachen Kochsalzlösung zu befeuchten. Noch leichter als der Froschkörper wird natürlich die Speiseröhre allein von den Flimmerbewegungen fortbewegt.

Anhang zu Capitel IV.

Auf Taf. XXXVI Fig. 2 und 3 ist ein Verdauungsofen mit Diffusionsapparat abgebildet, welcher in kurzer Zeit grössere Mengen von Nahrungsstoffen unter sehr günstigen Bedingungen zu verdauen gestattet, indem er gleichzeitig das Produkt der Verdauung leicht absondert und das bei derselben wirksame Ferment möglichst ungemindert erhält. Der Apparat ist von Kronecker construirt und hat sich in der Leipziger physiologischen Anstalt sehr gut bewährt.

Er besteht aus einem cylindrischen Blechbehälter *i* von 18 Ctm. Höhe, 20 Ctm. Durchmesser und wird mit Wasser gefüllt, dessen Temperatur mit Hilfe des Gasregulators *h* während längerer Zeit auf einer gewünschten Höhe erhalten werden kann; zu seiner Entleerung dient der Hahn *g*. Die zwei in seinem Deckel befindlichen Oeffnungen dienen, die grössere von etwa 9,5 Ctm. Durchmesser, zum Durchlassen eines tubullirten Glases *e* (Fig. 3), die kleinere für den Gasregulator.

Das Glasgefäss *e* hat 10 Ctm. Höhe und 9 Ctm. Durchmesser; Dank seinem erweiterten Rande bleibt es im Deckel des Wasserbades *i* aufgehängt. Der nahe am Boden dieses Glases befindliche Tubulus ist durch den Hahn *f* verschliessbar, der eine entsprechende Oeffnung in der Wand des Blechbehälters mit Hilfe eines Korkes wasserdicht durchsetzt.

In dem Glase hängt ein Trichter mit abgebrochener Spitze, in dessen Wand mehrere Löcher (*d d*) 2 Ctm. unterhalb des oberen Randes eingebohrt sind. Dieser Trichter dient zur Aufnahme eines Faltenfilters aus Pergamentpapier.

Die übrigen Einrichtungen des Apparats bezwecken, durch fortwährende Entfernung der sich bildenden Peptone den Verdauungsprocess möglichst zu beschleunigen. Zu diesem Behufe dient die umgestülpte Mariotte'sche Flasche *c*, deren Boden drei Oeffnungen besitzt, eine centrale für den bis in den Trichter reichenden Thermometer und zwei seitliche. Durch die eine dieser letzteren ist ein 0,5 Ctm. weites Glasröhrchen *a* in der Weise angebracht, dass es 2 Ctm. in den Trichter hineinragt und zwar zwischen dessen Wand und dem Filter; ein in dieses Röhrchen hineinpassendes, spitz ausgezogenes Glasstäbchen dient als konisches Ventil, indem sein spitzes aus dem Röhrchen hervorstehendes Ende beim Aufsetzen der Flasche auf das Diffusionsglas vom Rande des Trichters etwas gehoben wird.

Die zweite Randöffnung am Boden ist von dem Steigrohr *b* verschlossen.

Füllt man die Mariotte'sche Flasche mit verdünnter Salzsäure und setzt sie auf das Diffusionsglas in der Weise auf, dass das Steigrohr und das Ventilröhrchen ausserhalb des Filters bleibt, so fliesst aus der Flasche so lange Flüssigkeit in Trichter und Glas, bis die Mündung des Steigröhrchens *b* durch das Niveau der Flüssigkeit gesperrt wird. Dann kann durch das Ventilröhrchen keine Flüssigkeit mehr ausfliessen, da der Druck der äusseren Luft mit dem in der Flasche sich nicht auszugleichen vermag.

Das Ausfliessen beginnt dagegen von Neuem, sobald durch irgend einen Umstand das Niveau der Flüssigkeit in dem Diffusionsglase so weit gesunken ist, dass die Oeffnung des Steigröhrchens wieder frei wird. In dieser Weise wird dieses Niveau zwischen dem Trichterrande und der Löcherreihe (*d d*) auf constanter Höhe erhalten.

Die Anwesenheit dieser Löcher befördert in hohem Grade den Austausch von Flüssigkeiten zwischen dem Inhalt des Trichters und dem des Diffusionsglases. Während nämlich die viel schwereren Peptone sich zu Boden senken und durch die untere Oeffnung des Trichters in das Glas gelangen, tritt an ihrer Stelle aus dem Glase neue dünnere Flüssigkeit durch die erwähnten Löcher in den Filter. Die durch diese Circulation fortwährend stattfindende Entfernung der die Verdauung störenden Peptone beschleunigt auf diese Weise die Umwandlung weiterer Nahrungsstoffe.

Will man das Diffusat ganz entfernen, so braucht man nur den Hahn zu öffnen, die ausfliessende Flüssigkeit wird durch neue, aus der Mariotte'schen Flasche hinzukommende, ersetzt.

Bei dem Gebrauche des Kronecker'schen Dialysators ist es empfehlenswerth, nach dem Rathe von Wolffhügel folgende Vorsichtsmaassregel zu beobachten: Die Falten des Pergamentfilters dürfen nicht bis zur Spitze reichen, da sie sonst leicht brechen. Ehe man den Filter in den Trichter hineinthut, befeuchtet man

ihn aber nur so weit, dass der Rand trocken bleibt; sonst tritt Flüssigkeit von innen über diesen Rand zwischen Filter und Trichterwand.

Wird die beschriebene Vorrichtung zur einfachen Dialyse benutzt, so erscheint es wünschenswerth, die Flüssigkeit ausserhalb des Dialysators so oft als möglich zu wechseln. Zu diesem Zwecke wird das hier nutzlose Thermometer entfernt, die untere centrale Oeffnung in der Mariotte'schen Flasche ganz verschlossen, während in die obere statt des Thermometers ein Trichter befestigt wird, der mit Hilfe eines Kautschukpfropfes, durch den ein Glasstöpsel durchgelassen ist, luftdicht verschlossen werden kann.

Durch Entfernung dieses Stöpsels kann die entleerte Flasche von Neuem gefüllt werden, wobei nur darauf zu achten ist, dass die Füllung unterbrochen und der obere Einfülltrichter durch den Stöpsel verschlossen werden muss, noch ehe die Flüssigkeit dem Filterrande sich so weit genähert hat, dass sie über denselben zu dem Diffundate gelangen könnte.

Der in diesem Verdauungsofen verwendete Gasregulator *h* ist der von Geissler modificirte Bunsen'sche, der auf Taf. XXXII Fig. 4 noch besonders abgebildet worden ist.

Die bekannte Einrichtung und Wirkungsweise dieses Regulators ist folgende: Der oben offene Glascylinder *n* ist durch eine horizontale Scheidewand in zwei Theile getheilt; durch diese Scheidewand reicht ein Röhrchen fast bis zum Boden des Cylinders herunter und stellt so die Verbindung zwischen den beiden Hälften her. Das oberhalb der Scheidewand befindliche Quecksilber communicirt durch dieses Röhrchen mit dem im unteren befindlichen; zwischen der Scheidewand und dem Niveau dieses letzteren befindet sich ein mit Luft gefüllter Raum.

Oben wird der Glascylinder durch einen Kautschukpfropfen luftdicht verschlossen, durch welchen das Gasrohr *l* durchgelassen ist, das bei *t* mit der Gasleitung, bei *c* mit dem Brenner verbunden wird. In dieses Gasrohr ist ein zweites *i* eingeschmolzen, das bei *a* eine kleine Oeffnung besitzt.

Das Gas dringt durch *t* in das innere Röhrchen *i* ein, geht dann in dem Zwischenraume zwischen *i* und *l* durch das Zweigrohr *c* zum Gasbrenner; oder umgekehrt, es kommt durch *c* und geht durch *t* zum Brenner.

Dieser Regulator wird in das Wasserbad, dessen Temperatur auf der erwünschten Höhe constant zu erhalten ist, hineingebracht und sein Brenner unter dasselbe gestellt. Das Röhrchen *l* wird soweit in den Glascylinder *n* hinabgelassen, bis die Mündung des Röhrchens *i* vom oberen Quecksilberniveau verschlossen wird. Das zur Unterhaltung der Gasflamme nöthige Gas dringt dann nur durch die Oeffnung *a* zum Brenner. Fängt das Wasser im Bade an, unter die gewünschte Temperatur zu sinken, so wird sowohl die Luft unterhalb der Scheidewand, als auch das Quecksilber verdichtet; in Folge dessen wird die Mündung des Röhrchens *i* frei und das jetzt durch sie einströmende Gas verstärkt die Flamme des Brenners *i*. Sobald die Temperatur des Wassers in Folge dessen wieder zur früheren Höhe gestiegen ist, wird durch Ausdehnung von Luft und Quecksilber die Mündung von Neuem geschlossen u. s. w.

So vorzüglich dieser Gasregulator auch ist, wenn es sich um die Erhaltung der Temperatur auf den mittleren Höhen handelt, wie sie z. B. bei Verdauungsversuchen erforderlich sind, so reicht er doch nicht für alle erforderlichen Tem-

peraturgrade aus. Er versagt besonders leicht seine Dienste, wenn die Flamme anfängt grösser zu werden, obgleich das Gas zum Brenner nur durch die Oeffnung *a* zuströmt. Dies passirt sehr häufig, wenn in der Leitung der Druck, unter dem das Gas steht, plötzliche Schwankungen erleidet. Der Regulator besitzt dann keine Einrichtung, welche eine Verminderung der Flamme veranlassen könnte.

Von diesem Mangel ist ein anderer von Alvergniat in Paris verfertigter Gasregulator frei, der auf Taf. XXIII in Fig. 4 wiedergegeben ist. Seine allgemeine Einrichtung ist der des Bunsen'schen ähnlich; *a b* ist ein Glascylinder, der bei *c* durch eine Scheidewand in zwei Hälften getheilt ist, die durch eine von derselben abgehende Röhre mit einander communiciren. Die Füllung mit Quecksilber geschieht hier in derselben Weise, wie in dem vorigen Regulator. Durch einen Kork, welcher die obere Oeffnung des Cylinders *a b* verschliesst, geht eine mit Schraubenwindungen versehene Röhre *d* aus Gusseisen, die unten mit einer ovalen, auf der Zeichnung sichtbaren Mündung endet. Das Gas tritt hier aus der Leitung *l* durch den Kautschukschlauch *f* in die Eisenröhre *d*, durch deren Mündung in den Raum zwischen *a* und *d* und von da durch die Röhre *e* zum Brenner *k*. Wird der Theil *b* des Glascylinders in das Wasserbad hineingebracht, so sucht man die Eisenröhre so einzustellen, dass von ihrer Mündung gerade soviel frei bleibt, als nothwendig ist, um die zur Erhaltung der erwünschten Temperatur erforderliche Gasmenge durch dieselbe durchzulassen. Sinkt dann die Temperatur des Wassers, so wird der freie Theil der Mündung grösser und die Gasflamme vergrössert sich entsprechend; steigt im Gegentheil die Temperatur des Wassers, so tritt das Entgegengesetzte ein. Bis zu 70° *C* lassen sich mit diesem Regulator alle erwünschten Temperaturen erlangen.

Bei seinem Gebrauche ist es durchaus erforderlich, in die ihn mit der Gasleitung und dem Brenner verbindenden Kautschukschläuche das H-förmige Röhrenstück *ih* aus Messing einzuschalten. Dasselbe dient dazu, um eine ganz minimale, gerade zur Unterhaltung einer Flamme im Brenner erforderliche Gasmenge von *i* direct nach *g* durchzulassen, damit auch dann die Flamme nicht erlischt, wenn durch zu hohe Erwärmung des Wasserbades das Quecksilber im Cylinder einen vollständigen Verschluss der Mündung von *d* erzeugt. Der Hahn *g* dient, um die Communicationsöffnung zwischen *h* und *i* beliebig klein machen zu können.

In letzterer Zeit verfertigt Wissnegg in Paris unter dem Namen Régulateur Schloesing noch viel vollkommnere Temperaturregulatoren, die, was Genauigkeit anbetrifft (wie mir aus einer mündlichen Mittheilung von Gréhant bekannt), nichts zu wünschen übrig lassen.

Bibliographie zu Capitel IV.

§ I. Cl. Bernard: Leçons sur les anesthésiques etc. Paris 1875.
— Leçons de Physiol. expérim. Paris 1856. Leçons s. l. liquides. 1859.
C. Ludwig: Lehrbuch d. Physiologie. 1861. II.
— Henle u. Pfeufer's Zeitschrift. Zweite Folge. 1.
Heidenhain: Studien aus d. phys. Anst. zu Breslau. 4. Heft.
Tschirief: Bull. d. l'Ac. d. Sc. d. St. Pétersbourg. 1872.
Navrocki: Studien aus d. phys. Anstalt zu Breslau. 4. Heft.

Czermak: Wiener Sitzungsberichte. Bd. XXV.
v. Wittich: Virchow's Arch. Bd. 37 u. 39.
Schiff: Leçons sur la digestion. Berlin 1868. T. I.
§ II. Cl. Bernard: l. c.
Schiff: l. c.
Thiry: Wiener Sitzungsberichte. 1864. Bd. L.
Paschutin: Reichert's und du Bois-Reymond's Arch. 1871.
Moreau: Comptes rendus. 1869.
Bernstein: Arbeit. aus d. Leipz. phys. Anst. 1869.
Landau: Pflüger's Archiv. 1871.
§ III. Rawitsch: Kriegsmedicin. Zeitschrift. 1863. Petersburg (russisch).
Klinneberg: Die Nephrotomie bei Thieren. Dissert. Petersburg 1873.
Zalesky Der urämische Process. Tübingen 1865.
Max Herrmann: Wien. Sitzungsb. Bd. 36 u. 45.
C. Ustimowitsch: Arb. aus d. physiol. Anstalt zu Leipzig. 1870.
§ IV. F. Noll: Zeitschrift f. rat. Med. Bd. IX.
W. Tomsa: Wiener Sitzungsberichte. Bd. XLVI.
Ludwig: Wiener med. Jahrb. XIX. Jahrg. Bd. II.
Weiss (und Bidder): Virchow's Arch. Bd. XXII.
Genersich: Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig. 1870.
K. A. Lesser: Ibid. 1871.
Hamarsten: Ibid. 1871.
Paschutin: Ibid. 1872.
Emminghaus: Ibid. 1873.
Tschirieff: Ibid. 1874.
Ludwig und Schweigger-Seidel: Ibid. 1866. Die Lymphgefässe der Fascien und Sehnen. Leipzig 1872.
v. Recklinghausen: Virchow's Arch. Bd. XXVI.
Dybkowsky: Arb. aus d. Leipz. phys. Anst. 1866.
Ranvier: Comptes rendus. 1866.
H. Nasse: Untersuchungen über die Einflüsse, welche die Lymphabsonderung etc. Marburg 1871.
Goltz: Pflüger's Archiv. Bd. 4.
§ V. Mosso: Moleschott's Untersuchungen. IX. Bd. 4. Heft.
Wild: Henle und Pfeufer's Zeitschr. 1846.
v. Basch u. S. Mayer: Wiener Sitzungsb. Bd. LXII. 1870.
W. Engelmann: Pflüger's Arch. Bd. IV. 1871.
Sanders-Ezn: Maandblad der Sectie voor Natuurwetenschappen. 1870 Nr 6 und 1871 Nr. 8
van Braam-Houckgeest: Pflüger's Arch. 1873.
Legros und Onimus: Journ. d'Anat. et Phys. 1869.
v. Basch und Oser: Wiener med. Jahrb. 1872.
v. Basch: Wiener Sitzungsberichte. Bd. LXVIII. 1873.
Goltz: Pflüger's Arch. Bd. 6. 1872.
Calliburcès: Comptes rendus. T. XLVII.
Kistiakowsky: Wiener Sitzungsb. 1865.
Kronecker: Beitr. z. Anat. u. Phys. Ludwig Jubelband. Leipzig 1874.
Wolffhügel: Pflüger's Arch. 1873.

FÜNFTES CAPITEL.

Allgemeine Nerven- und Muskelphysiologie.

Erste Abtheilung.

Die gebräuchlichsten Apparate.

§ 1. Wahl der Elemente und Einrichtung von Batterien.

Bei den meisten physiologischen Versuchen giebt man mehrerer Gründe wegen Grove'schen Elementen den Vorzug. Die Beständigkeit ihrer elektromotorischen Kraft ist der Hauptgrund dieses Vorzugs. Bei der Grösse der Widerstände der thierischen Theile, welche fast immer bei ihrem Gebrauche eingeschaltet werden, kommen ihre sonstigen Nachtheile auch weniger in Betracht.

Ausser den Fällen, wo man die Grove'schen Elemente zur Speisung eines Inductionsapparates benutzt, kann man nach dem Beispiele du Bois-Reymond's kleine Elemente mit geringer Platinoberfläche verwenden.

Du Bois-Reymond benutzt eine Säule aus zwölf Plattenpaaren in den kleinen Wheatston'schen Trögen angeordnet, von etwa 20$^{mm}_{=}$ Durchmesser und 35$^{mm}_{=}$ Tiefe; die Porzellantröge, welche das Zink und die verdünnte Schwefelsäure enthalten, haben 55$^{mm}_{=}$ Durchmesser und ebensoviel Weite. Die amalgamirten Zinkcylinder tragen bogenförmig gekrümmte Arme, an denen unmittelbar kleine Platinplättchen angelöthet sind, welche in den porösen Trog des benachbarten Elements hineinragen. An das letzte Zink und das letzte Platin sind Drähte angelöthet, die durch Klemmschrauben sich mit beliebigen anderen Vorrichtungen verbinden lassen.

Man stellt die Batterie am besten entweder in einen besonderen Kasten, der ausserhalb des Zimmers am Fenster angebracht ist, oder in einen eignen Schrank, in dem durch nach aussen gehende Röhren ein lebhafter Luftzug unterhalten wird, der die salpetrigsauren Dämpfe entfernt. Durch in die Wände des Schrankes gebohrte Löcher werden von den Klemmschrauben der Elemente Leitungsdrähte durchzogen, die man am sichersten den Wänden entlang an besonderen Haken befestigt und nach allen Arbeitsräumen fortleitet. Werden ein für allemal dieselben Drähte mit den gleichnamigen Polen der Elemente verbunden, so kennt man immer die Stromesrichtung im Kreise. Sind mehrere in demselben Raume aufgestellt, so thut man wohl, das jeder zugehörige Drahtpaar von verschiedenfarbiger Seide umsponnen zu wählen.

Zur Bequemlichkeit der Füllung der Elemente ist es rathsam, die Säuren in besonderen mit Glashähnen versehenen Glasbehältern aufzubewahren. Die auseinandergenommenen Plattenpaare werden nach dem Gebrauche in ein Wasserbecken getaucht und zwar, wo der Bau der Elemente es gestattet, die Zinke gesondert von den Platinplatten.

Zur Speisung von Inductionsapparaten werden meistens die gewöhnlichen Grenet'schen Elemente wegen der Bequemlichkeit ihrer Handhabung bevorzugt. Nur wenn es sich um die Erzeugung bestimmter, genau abstufbarer Inductionsreize handelt, sind diese Elemente wegen der Inconstanz ihrer Kraft unbrauchbar.

Bei der Compensation der elektrischen Kräfte der Nerven oder Muskeln kommt man nicht selten in die Lage, schwächer wirkende Elemente zu gebrauchen, oft schon, weil der als Nebenschliessung benutzte Rheochordendrath es nicht gestattet, einen genügend schwachen Zweigstrom von dem gewöhnlichen Grove'schen Elemente zu erhalten. In diesem Fall kommt man mit einem Daniell für gewöhnlich aus.

Besondere Sorgfalt muss auf die Reinhaltung der doppelt durchbohrten Klemmschrauben, welche die Leitungsdräthe an die Elemente fixiren, verwendet werden. Sie müssen öfters mit einer Feile oder mit Bimsteinpapier sorgfältig gereinigt werden, wenn die zum Contact mit den Platten und Drähten kommenden Oberflächen überall gleich leitungsfähig sein sollen.

§ 11. Stromschliesser, Stromunterbrecher und Stromwender.

Die ungemeine Zartheit der elektrischen Vorgänge im Nerv und Muskel, sowie die ausserordentliche Empfindlichkeit dieser thierischen Gebilde gegen die Dauer, Stärke und Richtung auf sie einwirkender elektrischer Stösse, machen eine zweckmässige Wahl der Vorrichtungen, welche zur Schliessung, Unterbrechung und Wendung von Strömen benutzt werden, ungemein schwierig. Gar oft hängt das Schicksal einer unternommenen Versuchsreihe von einer mehr oder weniger glücklichen Wahl dieser Vorrichtungen ab. Hier sollen daher die meisten der in der Physiologie gebrauchten Apparate dieser Art beschrieben werden, welche sich bis jetzt als die zweckmässigsten erwiesen haben.

Poggendorff gebührt bekanntlich das Verdienst, die früher zum Verbinden galvanischer Ketten benutzten Quecksilbernäpfe, in die man verquickte Kupferhaken tauchte, zuerst durch Einführung von Klemmschrauben dauernd ersetzt zu haben. Wenn bei feststehenden Verbindungen die Quecksilbernäpfchen in Folge dessen auch ganz aus dem Gebrauche kommen, so benutzt man dieselben doch noch da, wo man den Strom öfters schliessen und öffnen muss.

Von den vielen Unzulänglichkeiten solcher Schlussweisen war die Unbequemlichkeit der jedesmaligen Herrichtung, sowie der besonders erforderlichen Aufmerksamkeit bei deren Handhabung nicht der geringste Mangel.

Es ist daher in der physiologischen Technik ein wirklicher Fortschritt gemacht worden, als du Bois-Reymond den Schluss mittelst Quecksilbernäpfchen durch die Construction seines Schlüssels (oder wie er ihn neuestens zu benennen vorschlägt: des Vorreiberschlüssels) ersetzt hat.

Dieser Schlüssel ist auf Taf. XXXVIII Fig. 4 abgebildet und besteht aus zwei mit Klemmschrauben versehenen Messingklötzchen *c* und *b*, welche auf einer

Platte *a* aus Kammmasse befestigt sind. An dem Klötzchen *c* ist ein Hebel aus Messing *d* drehbar, der einen Griff aus Elfenbein trägt und beim Andrücken an die Kammmasse die beiden Klötzchen fest verbindet. Die Kammmasse ist an eine Schraubenzwinge aus Holz angebracht, und lässt sich mit Hilfe derselben der Schlüssel überall befestigen.

Man kann diesen Schlüssel in doppelter Weise benutzen: steht der eine Klotz, z. B. *c*, mit dem einen Ende eines Kreises und *b* mit dem anderen in Verbindung, so wird beim Herunterlassen des Vorreibers *d* der Kreis geschlossen, bei seiner Hebung geöffnet.

Die Doppelklemmen an den Klötzen erlauben aber auch den Vorreiber als gute Nebenschliessung zu benutzen, indem man *b* und *c* an zwei Stellen eines Kreises einschaltet.

Verbindet man z. B. die beiden Klötze einerseits mit den Polen eines Elements, andererseits mit einem Stück eines Nerven, so ist beim Aufbleiben des Vorreibers der ganze Strom durch den Nerven geschlossen; beim Herunterlassen desselben bildet er eine Nebenschliessung von so minimalem Widerstande, dass der Nerv als von dem Strome ausgeschaltet betrachtet werden kann. Die grosse Bequemlichkeit dieses Schlüssels hat ihm alsbald die weiteste Verbreitung in den physiologischen Laboratorien verschafft. Doch kann er nicht überall bei Schliessungen von Strömen mit dem gleichen Nutzen verwendet werden; in einigen Fällen ist sein Gebrauch sogar unmöglich, ohne einen nicht unbedeutenden Fehler einzuführen.

Der Widerstand dieses Vorreiberschlüssels ist nämlich nicht ganz beständig; er schwankt, je nachdem man mit grösserer oder geringerer Kraft oder Schnelligkeit den Vorreiber andrückt resp. abhebt.

Ist er in einen Kreis von grossem Widerstande eingeschaltet, so verschwinden diese kleinen Widerstandsschwankungen; nicht so aber, wenn der Kreis von geringem Widerstande ist. Er ist daher nicht zu verwenden, um den Kreis der primären Spirale eines Inductionsapparates oder die Hauptleitung des Rheochords zu schliessen, wenn dieselben zur Reizung von Nerven benutzt werden. Die Schwankung der Stromdichte, welche daraus entsteht, dass der Vorreiber sowohl während der Oeffnung, als während der Schliessung nicht fortwährend in derselben Ausdehnung mit dem Klötzchen in Verbindung steht, muss in solchen Fällen die Stromesstärke beeinflussen.

Man bedient sich zur Schliessung oder Oeffnung des Kreises in diesen Fällen am besten des Quecksilbers.

Die dabei zu treffende Vorrichtung kann natürlich verschieden sein; eine sehr zweckmässige ist neuestens unter dem Namen des Quecksilberschlüssels von du Bois-Reymond angegeben worden.

In einer kreisrunden Holzscheibe ist ein Porzellannäpfchen eingelassen, das mit Quecksilber gefüllt ist. In dieses tauchen zwei Kupferdräthe, von denen der eine fest am Brett derart befestigt ist, dass er fortwährend mit dem Quecksilber in Berührung ist, während der andere an einem Hebel drehbar ist und zum Schliessen oder Oeffnen des Kreises benutzt wird.

Man kann den früher beschriebenen Vorreiberschlüssel auch gleichzeitig zu einem Quecksilberschlüssel herrichten, wenn man an das andere Ende des Vor-

reibers einen verquickten Draht anlöthet. Hinter dem Klötzchen *c* wird in der Kammplatte noch ein Näpfchen aus Glas oder Porzellan befestigt, das mit Quecksilber gefüllt ist und in das ein zweiter Kupferdraht beständig taucht. Bei der Bewegung des Vorreibers wird dann seine verquickte Spitze in das Näpfchen getaucht oder aus demselben herausgeholt.

Wo es auf grosse Gleichmässigkeit beim Schliessen oder Oeffnen des Stromes nicht ankommt, da reichen die beschriebenen Vorrichtungen vollkommen aus. Anders ist es aber, wenn die Nothwendigkeit, eine Reihe von Reizversuchen unter einander zu vergleichen, es verlangt, dass die Schliessungen und Oeffnungen von Strömen immer mit derselben Geschwindigkeit geschehen. Hier ist es erforderlich, eine Vorrichtung zu besitzen, welche dies in vollkommener Weise auszuführen im Stande ist. Pflüger, der erste, welcher dieser Nothwendigkeit Genüge zu leisten versuchte, hoffte mit der Construction seines elektromagnetischen Fallhammers einen Apparat herzustellen, der sowohl für Schliessungen als Oeffnungen gleich gut brauchbar wäre. Dieser Apparat ist auf Tafel XXXVII Fig. 2 wiedergegeben. Seine Einrichtung ist kurz folgende:

Auf einem aus Hartgummi gefertigten Brette ist ein Messingklotz *a a* befestigt, der zwei Stehlager *b b* trägt, in welche zwei als Achsenlager dienende Schrauben *c c* für die Stahlwalze *f* angebracht sind. Diese in ihrer Achse ganz sicher gehende Walze trägt in der Mitte den Stiel *g* des Hammers *i*, welcher aus weichem Eisen gearbeitet ist und die aus der Zeichnung verständliche Form hat.

Durch die Messingplatte *k* des Hammerkopfes *i* ist an ihn ein zugespitzter Metalldrath angebracht, der beim Herunterfallen des Hammers in das mit Quecksilber gefüllte Eisengefäss *f* hineinpasst. Der Hammer liegt zwischen den beiden Schenkeln des metallenen Gestells *n o n*, in welchem mittelst der Schrauben *s s* der Elektromagnet *u u* in gewünschter Höhe eingestellt werden kann.

Legt man den Kopf des Hammers an die untere Fläche des Elektromagneten an, währenddem dieser letztere von einem Strome umkreist wird, so wird dieser Kopf so lange festgehalten, bis man den Strom öffnet.

Auf der vorderen Seite trägt die Hartgummiplatte ein zweites Gestell aus Messing, welches auch Achsenlager für die Achse *y* trägt, um die der zweiarmige metallene Hebel *z x* drehbar ist. Der Arm *z* trägt an seiner vorderen unteren Fläche ein Platinplättchen, welches zum Contact mit dem durch die Schraube *d'* einstellbaren Stift *a* dient. Die Feder *l'* sichert diesen Contact. Wird die Klemme *e'* mit dem einen Pol, die Klemme *c* mit dem anderen durch Dräthe verbunden, so ist, bei Vorhandensein dieses Contactes, der Kreis der Kette geschlossen. Geöffnet wird er, wenn durch Entmagnetisirung der Elektromagnete *u u* der Kopf des Hammers auf den Hebelarm *x* schlägt, wobei der Contact zwischen *z* und *a* plötzlich gelöst wird.

Den Schluss des Stromes bewirkt dieser Hammer, wenn man die Klemme *e*, die in ununterbrochener metallischer Verbindung mit der Stahlwalze *f* und durch dieselbe mit dem Griff und Kopf des Hammers steht, durch einen Draht mit dem einen Ende und das Quecksilbernäpfchen vermittelst der Klemme *g'* mit dem anderen Ende eines Kreises verbindet. Fällt der Hammer bei Unterbrechung des den Elektromagneten umkreisenden Stromes herunter, so taucht sein Platinfortsatz in das Quecksilber und bewirkt den Schluss des Stromes.

An dem Apparate ist noch die sehr vollkommen wirkende Vorrichtung $m' i' e' k'$ hervorzuheben, welche dazu dient, den herabgefallenen Hammer bei h sofort festzuklemmen, damit er nicht durch den Gegenstoss der Platte zurückspringt und so den Contact von z und a von Neuem herstellt.

Um den Stoss des Hammers auf diese Platte theilweise aufzufangen, ist unter dem Hebelarm noch ein Metallklotz angebracht.

So sorgfältig der ganze Apparat auch ausgeführt wurde, so hat doch bald Pflüger selbst sich von der Beschränktheit seiner Verwendbarkeit überzeugt.

Die Benutzung dieses Apparates zur Oeffnung des primären Kreises eines Inductionsapparates, um den Nerven durch gleichmässige Oeffnungsschläge zu reizen, musste bald aufgegeben werden. Es zeigte sich nämlich, dass die durch die Höhe der aufgezeichneten Muskelzuckungen controlirbaren Erfolge dieser Reizungen trotz des gleichen Abstandes der beiden Rollen unter einander sehr ungleich waren. Alle Bemühungen Pflüger's, die Ursache dieser Ungleichheit herauszufinden und zu beseitigen, scheiterten. Die sorgfältigsten Anordnungen zur Vermeidung unipolarer Reizung und zur Beseitigung etwaiger Ungleichartigkeiten im Kreise der secundären Spirale überzeugten Pflüger, dass die Ursache der Ungleichheiten wirklich nur in der Oeffnungsweise des primären Kreises durch den Fallhammer gelegen ist. Sie konnte in der Veränderung des Contactes zwischen z und a durch den Funken liegen; da diese Veränderung nicht zu verhindern war, so suchte Pflüger durch Einschaltung grosser Widerstände in den primären Kreis diese Fehlerquelle zu vermindern.

Trotz der grossen Schnelligkeit, mit welcher der Contact gelöst wird, geschieht nämlich diese Lösung doch nicht momentan, sondern die Ausdehnung der sich berührenden Flächen wird immer kleiner, bis sie null wird. Bei Einschaltung grosser Widerstände in den Kreis wird das durch den Oeffnungsfunken verursachte ungleichmässige Schwanken der Widerstände bei der Lösung des Contacts unwirksam gemacht.

Wie sich aber Pflüger gleich überzeugte, wurde die Unbrauchbarkeit des Instruments zur Erzielung gleichmässiger Oeffnungsschläge dadurch nur noch gesteigert.

Er verzichtete daher auf eine derartige Benutzung des Fallhammers und beschränkte sich darauf, ihn nur zur Erhaltung von Schliessungsschlägen zu verwenden. Hier leistete er ihm auch zufriedenstellende Resultate.

In letzterer Zeit hat aber S. Lamansky bei Gelegenheit seiner Discussion des Fick'schen Zuckungsgesetzes mit A. B. Meyer nachgewiesen, dass der Fallhammer auch zur Erhaltung von gleichstarken Schliessungsschlägen nicht immer brauchbar ist, indem in Folge der Erschütterung, welche das Quecksilber beim Einfallen der Spitze in das Gefäss erleidet, noch eine Unterbrechung des Stromes nach dem ersten Schluss erfolgt. Die bei dem Gebrauch dieses Hammers erhaltenen übermaximalen Zuckungen sollen nach Lamansky von einer Summation dieser beiden Schläge herrühren.

Folgende Beobachtung, welche ich in letzterer Zeit oft zu machen Gelegenheit hatte, scheint darauf hinzuweisen, dass die Ungleichmässigkeit der Muskelzuckungen, welche Pflüger bei den Oeffnungsschlägen erhielt, auch von ähnlichen Summationen abhängig war.

Jüngst hatte ich nämlich Gelegenheit, den Pflüger'schen Hammer häufig zur Erhaltung von Oeffnungsschlägen zu gebrauchen. Ich erhielt dabei sehr häufig durch die einmalige Oeffnung des Stromes zwei so schnell aufeinanderfolgende Muskelzuckungen, dass die zweite im Moment begann, wo die erste ihr Maximum erreicht hatte. Der Fehler des Apparats scheint also darin zu liegen, dass der Contact nicht mit einem Male gelöst wird, sondern dass vielleicht durch eine seitliche Verschiebung oder zu starke Erschütterung des Hebels $x\,z$ der Contact vor der vollen Umwerfung von $x\,z$ noch einmal hergestellt wird. Traten keine solchen Summationen ein, so waren die erhaltenen Höhen der Zuckungen untereinander ziemlich gleich.

Da Pflüger die Muskelzuckungen auf unbeweglicher Platte aufzeichnen liess, so konnte er diese Summation zweier Reize nur als vergrösserte Höhe der Zuckung beobachten.

Wie dem auch sei, aus dem Vorhergehenden folgt jedenfalls, dass der elektromagnetische Hammer ein nur mit äusserster Vorsicht zu gebrauchender Apparat ist und dass er jedenfalls den Zweck, welchen sein Erfinder bei seiner Herstellung verfolgte, nur in sehr beschränkter Weise erfüllt. Wie die Pflüger'schen Versuche zeigen, ist er für den Schluss von Strömen noch mit Nutzen zu verwenden; und erklären sich die Misserfolge, welche auch nach dieser Richtung hin die anderen Beobachter erhielten, vielleicht dadurch, dass sie die von Pflüger empfohlene und geübte Vorsichtsmaassregel vernachlässigten, das Eisengefäss nicht auf derselben Unterlage zu befestigen, auf welcher der übrige Theil seines Apparates ruhte; damit kann man man die Erschütterung des im Gefäss enthaltenen Quecksilbers vermeiden.

Bei der Oeffnung und Schliessung eines Kettenstromes hat die Schnelligkeit, mit welcher dies geschieht, nur wenig Einfluss auf den Erfolg der Reizung (dies hängt vielleicht von den grossen im Kreise schon vorhandenen Widerständen ab). Man kann daher ohne grossen Fehler aus freier Hand mit Hilfe der oben beschriebenen Schlüssel das Oeffnen und Schliessen des Stromes besorgen.

Für die gleichmässige Oeffnung des primären Kreises kann dagegen mit Erfolg der gleich zu beschreibende vorzügliche Pendelunterbrecher von Ludwig (Fig. 2 Taf. VI) benutzt werden.

Derselbe dient zwar hauptsächlich zu einem ganz anderen Zwecke; er kann jedoch auf die unten anzugebende Weise auch zur Oeffnung des Stromes verwendet werden.

Eine weitere Aufgabe, welche die Physiologie an Stromschliesser oft zu stellen gezwungen ist, ist, die Dauer des Stromschlusses in weiten Grenzen veränderlich machen zu können. Nach Bedürfniss soll man diese Dauer wenigstens annähernd auch zu messen im Stande sein.

Fick war, soweit mir bekannt, der Erste, welcher sich mit der Herstellung eines solchen Stromschliessers beschäftigt hat. Die Fig. 3 auf Taf. XXXVII zeigt den Fick'schen Apparat in der Form, die er ihm später für seine Untersuchungen über die Nervenerregung gegeben hat.

Der Schluss des Stromes wird an dieser Vorrichtung dadurch erzielt, dass das leicht gebogene Messingfederchen f, das bei d mit dem einen Pol der galvanischen Kette in Verbindung steht, in Contact gebracht wird mit der Messingplatte m,

die durch *'d* mit dem anderen Pole vereinigt ist. Die Dauer dieses Contactes kann bei diesem Apparat auf dreifache Weise variirt werden: erstens, indem man die Geschwindigkeit, mit welcher die Feder *f* über die Platte streift, ändert; zweitens, indem man es grössere oder geringere Strecken der dreieckigen Platte durchlaufen lässt, und drittens, indem man durch verschiedene Belastung des Balkens *bb*, welcher die Feder trägt, ihre Schwingungsdauer vergrössert.

Um dies Federchen mit verschiedenen Geschwindigkeiten sich bewegen zu lassen, ist es an ein 30 Ctm. langes Bälkchen befestigt, das mit einer zu ihm senkrecht stehenden Axe fest verbunden ist. Eine stählerne Spiralfeder windet sich um diese Axe und ist einerseits an ihre Verbindungsstelle mit dem Bälkchen, andererseits an deren Axe befestigt.

Durch diese Spiralfeder wird dem Bälkchen eine gewisse Gleichgewichtslage gegeben, um die es oscillirt, wenn man es daraus entfernt.

Kennt man die Dauer und die Amplitude dieser Oscillationen, so lässt sich aus denselben die Winkelgeschwindigkeit berechnen, mit welcher das Bälkchen durch seine Gleichgewichtslage geht. Sie ist nämlich der Amplitude direct, der Schwingungsdauer umgekehrt proportional. Da die Dauer constant ist, so genügt es die Amplitude zu wechseln, um verschiedene Geschwindigkeiten zu erlangen.

Die Möglichkeit, die Strecke, welche die Feder an dem Messingplättchen durchläuft, zu variiren ist durch folgende Einrichtung dieser letzteren gegeben. Die messingene Platte hat die Form eines Dreiecks und ist in eine rechtwinklige Platte aus Elfenbein dermaassen eingelassen, dass ihre Oberflächen eine Ebene bilden. Die Elfenbeinplatte ist in einem Falz des Brettchens in der Weise angebracht, dass sie in demselben hin und her geschoben werden kann, und ausserdem die Oberfläche desselben um ein paar Millimeter überragt.

Die Spitze der dreieckigen Messingplatte ist gegen die Axe des Bälkchens gerichtet; je mehr also die Elfenbeinplatte zur Axe vorgeschoben wird, eine um so breitere Strecke des Messingplättchens muss die Contactfeder durchlaufen.

Beim Gebrauche des Apparates muss dafür Sorge getragen werden, dass das Contactfederchen zwar frei schwingt, dass aber ihre Spitze tiefer zu stehen komme, als die Oberfläche der Elfenbeinplatte.

Vor Beginn des Versuchs wird diese Platte so weit zurückgezogen, dass das Federchen mit ihr gar nicht in Contact kommt, wenn das Bälkchen um die Axe oscillirt. Sodann wird das Bälkchen aus seiner Gleichgewichtslage in der Richtung *m S* in die gewünschte Entfernung, z. B. in die Lage *c g*, gebracht und hier durch einen Sperrhaken fixirt. Jetzt wird die Elfenbeinplatte auf die gewünschte Distanz vorgeschoben und dieser Haken losgelassen; das Bälkchen schwingt nun in der vom Pfeile angezeigten Richtung von *c* nach *g*, wobei die Feder an der Messingplatte schleift.

Bei *g* wird das Bälkchen durch einen zweiten Sperrhaken angehalten und an dem Zurückschwingen verhindert.

Die Breite der von der Contactfeder an der Messingplatte berührten Strecke kann leicht gemessen werden; eben so leicht wird an einer am Grundbrette angebrachten Theilung auch der Winkel zwischen *m S* und *c g* abgelesen. Da die Geschwindigkeit der Schwingung sich aus den bekannten Grössen leicht berechnen

lässt, so kann man bei Kenntniss der benutzten Strecke auch die Dauer des stattgefundenen Contacts erhalten.

So sinnreich diese ganze Einrichtung auch ist, so hängt doch die Genauigkeit ihrer Angaben durchaus von der Vollkommenheit ab, mit welcher während des Ueberstreifens der Contact zwischen Feder und Messingplatte bewerkstelligt wird. Irgendeine sichere Controlle über diese Vollkommenheit lässt sich aber schwer üben [1]) — mithin kann auch die Genauigkeit der mit diesem Apparate gemessenen Dauer des Schlusses nicht verbürgt werden.

Helmholtz hat daher zu demselben Zwecke eine andere Einrichtung getroffen, welche bei der unter seiner Leitung ausgeführten Untersuchung von König zur Anwendung gekommen und von Letzterem auch beschrieben worden ist.

Das Princip dieser Helmholtz'schen Einrichtung besteht in Folgendem: Ein Fallhammer wird durch einen Elektromagnet in einer solchen Höhe erhalten, dass zwei von seinem Kopfe abgehende amalgamirte Spitzen in einer constanten Entfernung von $1\frac{1}{2}$ Mm. von der Oberfläche des Quecksilbers abstehen, das sich in zwei unter ihnen stehenden Näpfchen befindet.

Der Kopf des Hammers trägt ausserdem einen Vorsprung, welcher an seinem Ende eine durch eine Gegenschraube genau einstellbare Schraube besitzt. Unterhalb dieser Schraube wird ein Hebel angebracht, der durch Federdruck in metallischen Contact mit dem Theile des Apparates erhalten wird, durch welchen der Strom dann weiter geleitet werden soll.

Durch das Entmagnetisiren des Elektromagnetes wird der Fallhammer zum Fallen gebracht, wobei die Einsenkung seiner Spitzen in das Quecksilber den Schluss des Stromes bewerkstelligt. Geöffnet wird er gleich darauf dadurch, dass die Schraube des Hammers beim Anschlagen an den Hebel die Leitung unterbricht. Die Zeit, welche zwischen der Einsenkung der Kupferspitzen in das Quecksilber und dem Anstossen dieses Hebels vergeht, giebt die Dauer des Stromesschlusses. Diese Zeit lässt sich sehr genau und leicht berechnen, wenn man die Entfernung der Spitzen von der Quecksilberoberfläche ($1\frac{1}{2}$ Mm.) kennt und die Höhe misst, durch welche der Hammer gefallen, bis die Oeffnung des Stromes geschehen ist. Durch Drehungen der am Vorsprunge des Hammers befindlichen Schraube lässt sich die Höhe variiren, also auch die Dauer des Schlusses ändern. (Die Höhe der einzelnen Schraubengänge betrug bei König $\frac{1}{2}$ Mm.; mit Hilfe einer besonders angebrachten Theilung liessen sich auch Bruchtheile einer Drehung ablesen).

Auf demselben Helmholtz'schen Princip beruht ein von Ludwig construirter Pendelunterbrecher, welcher bei grosser Genauigkeit von den Unzulänglichkeiten des Fallhammers und der Quecksilbererschütterung frei ist. Auf Taf. XL Fig. 2 ist dieser Unterbrecher abgebildet. [2]) Ein frei fallendes Pendel stösst auf seiner Bahn zuerst auf einen Hebel, durch dessen Umwerfung er plötzlich den Strom schliesst, und dann gleich darauf auf einen zweiten — durch den der Strom geöffnet wird. Durch willkürliche Wahl der Entfernung zwischen den beiden Hebelspitzen kann man die Zeit des Geschlossenseins des Stromes auf das Genaueste beherrschen. Mit Hilfe einer Schraube geschieht die jedesmalige Einstellung des

1) Eine solche könnte nur mit Hilfe der Pouillet'schen Methode (s. u.) geliefert werden.
2) Ich verdanke die Zeichnung der Güte des Herrn Prof. Ludwig.

einen der beiden Hebel, während dem zweiten ein- für allemal eine fixe Stellung gegeben ist.

Die genauere Einrichtung dieses Apparats ist nun folgende. *P* ist ein Kugelpendel, das, auf die aus der Zeichnung verständliche Weise, durch einen federnden Sperrhaken in einer gewissen Entfernung von seiner Gleichgewichtslage zurückgehalten wird. Es genügt ein ganz leiser Druck auf die Feder des Hakens, um das Pendel frei schwingen zu lassen. *ab* und *cd* sind zwei rechtwinklige Hebel, von denen *ab* durch Berührung mit der bei *b* befindlichen Klemmschraube den Strom schliesst, während *cd* durch Entfernung der an seinem längeren Arm befindlichen Schraube von dem Contactplättchen der Klemmschraube bei *d* den Strom zu öffnen vermag. Der Fortsatz der Klemmschraube bei *b*, welcher zum Contacte dient, hat die Form eines Conus, sodass die Berührung der breiten Fläche des Hebels *ab* mit demselben eine ganz genaue ist. Durch einen an der Zeichnung weggelassenen Stift, der in der Nähe dieses Fortsatzes, aber an der entgegengesetzten Seite des Hebels fixirt ist, wird sein Ausweichen nach dieser Seite hin vermieden; ein auf diesen Stift sitzendes Schräubchen dient zur Einstellung des Hebels *ab* in beliebiger Entfernung vom erwähnten Fortsatze.

Die Spitze der Schraube *d* ist aus Platin, ebenso wie die Contactplatte an der Klemmschraube. Der Rest des Instruments ist aus Messing gearbeitet. Beide Hebel sind um dieselbe Axe, die sich in der Gleichgewichtslage des Pendels befindet, drehbar und zwar ganz unabhängig von einander. Die Entfernung der Spitzen *e* und *a* von einander wird sehr genau mittelst der Schraube *d* regulirt; bei bekannter Steigung ihrer Windungen kann man diese Entfernung bei jeder Drehung genau bestimmen.

Ist nun der ganze Apparat im Kreise eingeführt, und zwar durch Dräthe, welche in den Klemmschrauben angebracht sind, so stellt man die Hebel vor dem Versuche derart ein, dass bei *d* der Contact geschlossen, bei *b* geöffnet ist. Lässt man nun das Pendel frei, so stösst es zuerst die Spitze *a* an — der Strom wird geschlossen — indem *b* sich nach unten bewegt und an den konischen Contactfortsatz sich anlegt; sodann trifft es die Spitze *c* — der Hebelarm *d* bewegt sich nach oben und der Contact an der Schraube wird gelöst.

Die Empfindlichkeit des Instrumentes ist so gross, dass etwa ein $^1/_4$ Umdrehung der Schraube, welche eine kaum sichtbare Aenderung in der Stellung der Spitzen hervorruft, sich schon an dem Resultate der Reizung kundgiebt.[1])

Die Bestimmungen der Zeitdauer des Stromschlusses geschieht bei diesem Instrumente ganz auf dieselbe Weise wie bei dem eben beschriebenen König'schen.

Schon oben wurde erwähnt, dass dieser Apparat auch mit Nutzen verwendet werden kann, einen Strom mit immer gleicher Geschwindigkeit zu öffnen. Dazu ist es nur nöthig, ihn z. B. in den primären Kreis eines Inductionsapparates einzuführen bei vollem Contact sowohl bei *b* als bei *d*. Das schwingende Pendel öffnet dann diesen Kreis durch Anschlagen an *e*, also Abheben von der Schraube *d*.

Ein weiteres wichtiges Erforderniss für die Experimentalphysiologie ist es, selbstthätige Unterbrecher zu besitzen, die im Stande sind, in genau regelmässigen

1) Um das Zurückschwingen des Pendels zu verhüten, würde es sich empfehlen auf der entgegengesetzten Seite auch eine Sperrvorrichtung anzubringen.

und variirungsfähigen Intervallen rhythmische Schliessungen und Unterbrechungen von galvanischen Strömen zu erzeugen.

Solche Unterbrecher werden in der Physiologie mit Hilfe von Uhrwerken, von schwingenden Stimmgabeln u. s. w. hergerichtet. Die zweckmässigsten von ihnen sollen hier beschrieben werden.

Am einfachsten erzielt man solche rhythmische Unterbrechungen mit Hilfe eines gewöhnlichen Metronoms.

Verbindet man sein Pendel mit einem längeren Drathe, der bei jeder Schwingung in ein Quecksilbernäpfchen eintaucht, während die Enden eines Kreises einerseits mit dem Uhrwerke des Metronoms, andererseits mit einem beständig in das Näpfchen getauchten Kupferdrathe leitend communiciren, so wird der Kreis bei jeder Schwingung des Pendels geschlossen und geöffnet. Durch Verschiebung des Gewichts am Pendel wird die Zahl seiner Schwingungen, also auch die Zahl der Stromunterbrechungen, regulirt.

Wenn es auf grosse Genauigkeit des Apparates, besonders auf einen von Zeit zu Zeit eintretenden Ausfall einer Schliessung oder auf Störungen in der Leitung, durch die Bildung einer Oxydschicht an der Drathspitze, nicht ankommt, so ist diese Stromunterbrechungsweise ganz brauchbar. Dies gilt besonders für die Fälle, wo diese Unterbrechungen nur benutzt werden, um einen elektromagnetischen Zeitmarkirer von der Art der auf Taf. XIX abgebildeten in Gang zu setzen. Auch zur Unterbrechung des primären Kreises eines Inductionsapparates[1]) kann diese Anordnung in gewissen Fällen ohne Schaden verwendet werden. Dies besonders, wenn der Contactvorrichtung eine vollkommenere Form gegeben wird, etwa wie die auf Taf. XLI Fig. 3 abgebildete.

Diese Einrichtung ist von Kronecker an einem Maelzel'schen Metronom angebracht worden, der ein Räderwerk zur Bezeichnung des guten Takttheils durch einen Glockenschlag enthält. Durch Einfügung eines fünften Rades ist dieser Metronom[2]) insofern completirt worden, dass er nunmehr jeden zweiten, dritten, vierten, sechsten oder zwölften Pendelschlag durch eine Bewegung des Glockenklöppels markirt, je nachdem der Sperrhaken auf dem einen oder anderen der fünf Räder eingestellt ist. Diese Einstellung geschieht mittelst eines aus dem Metronomkasten hervorragenden Schiebers.

Der Klöppel der Glocke zieht jedes Mal, wenn der Sperrhaken von einem Zahne des Metronoms gelöst wird, an dem Faden *b*, welcher über eine Rolle zu dem Bügel *c c'* geht. Dadurch werden die zwei amalgamirten Spitzen des Bügels aus den Quecksilbernäpfchen *d* und *e* gehoben — der Strom wird geöffnet. Bei Ruhe des Klöppels sind diese Spitzen in Quecksilber getaucht — der Strom ist geschlossen.

Im Laufe dieses Paragraphen wird noch eine Contacteinrichtung angegeben, welche bei allen Schliessungen durch Quecksilbernäpfchen mit grossem Vortheil verwendet werden kann, um die sonstigen Mängel, mit welchen solche Schliessungen

---

1) Der selbstthätige Neef-Wagner'sche Hammer (Taf. XXXVIII Fig. 3), welcher gewöhnlich bei Inductionsapparaten benutzt wird, ist im § VII beschrieben.

2) Die gezeichnete Einrichtung ist von der zuerst von Kronecker verwendeten bezüglich der Bewegung des Bügels verschieden.

behaftet sind, zu beseitigen. Wird diese von Kronecker und Tiegel getroffene Einrichtung (Capillarcontact) auch an dem Metronomunterbrecher angebracht, so kann er auch zur Schliessung und Oeffnung eines zur Reizung von Nerven benutzten Stromes verwendet werden.

Eine ganz vorzügliche Unterbrechungsuhr ist auf Taf. XXXIX Fig. 1 abgebildet worden. Dieselbe ist aus einem früheren von Bowditch construirten und beschriebenen Uhrwerke (Reizuhr) hervorgegangen. Sie besteht aus einer gewöhnlichen vorzüglich gearbeiteten Pendeluhr, die an Stelle des Zifferblatts eine metallene Scheibe *A* trägt, an welcher in concentrischen Kreisen in regelmässigen Entfernungen gleich grosse Stifte angebracht sind. Diese Scheibe steht durch die isolirte Klemme *J* mit dem einem Ende einer Stromquelle in Verbindung. Die metallene Axe *D*, welche in durch Hartgummi isolirten Axenlagern ruht, trägt eine Contactvorrichtung, welche sich von rechts nach links und umgekehrt mit Leichtigkeit bewegen lässt. Auf der einen Seite besitzt diese Vorrichtung einen durch die Schraube *E* einstellbaren Fortsatz, der zur Bildung des Contactes von beliebiger Dauer[1]) mit den Stiften der Scheibe *A* dient. Bei dem Gang der Uhr wird die Scheibe in einer den Zeigern einer gewöhnlichen Uhr entgegengesetzten Richtung gedreht, wobei dieser Fortsatz die in regelmässigen Intervallen stehenden Stifte abwechselnd genau trifft und verlässt. Da er durch die Axe *D* und Klemme *J* mit dem zweiten Ende der Stromquelle in Verbindung steht, so wird der Strom bei jeder Berührung geschlossen, bei jedem Nachlass geöffnet.

Die auf der Scheibe befindlichen Stifte sind so geordnet, dass je nach der Entfernung des Fortsatzes von ihrer Peripherie eine Schliessung in 1, 2, 4, 5, 10, 15, 20, 30 und 60 Secunden bewirkt werden kann. Die beiden federnden Fortsätze bei *C* zeigen die der jemaligen Einstellung der Contactvorrichtung entsprechende Zahl der Schliessungen.

Die unterhalb der Scheibe sichtbare Zahnreihe dient dazu, diese Vorrichtung nach der Einstellung in der gewünschten Stellung einzuhaken. Um bei der Ueberführung, der Contactvorrichtung von einem Stiftenkreis auf den anderen den Fortsatz von der Scheide abheben zu können, genügt es, bei *C* einen gelinden Druck auf die Schraube auszuüben.

Die ganze beschriebene Vorrichtung ist auf der vorderen Wand des hölzernen Gehäuses angebracht und wird am besten vorne durch eine Glasthür noch vor Staub und sonstigen Schädlichkeiten geschützt. Das Uhrwerk wird an einer ruhigen Stelle der Wand aufgehängt.

Was die Zweckmässigkeit der Einrichtung und die Vortrefflichkeit der Ausführung, besonders des Uhrwerks und der Contacttheile, anbetrifft, so lässt diese Unterbrechungsuhr wenig zu wünschen übrig.

Ausser zu Unterbrechungen von Reizströmen kann man sie auch mit Vortheil zur Unterhaltung des Ganges von Zeitmarkirern und sonstigen chronographischen Vorrichtungen (s. Seite 133) benutzen.

Hier sei noch ein kleiner Unterbrechungsapparat von Marey erwähnt, der auf Taf. XXXVII in Fig. 4 wiedergegeben ist. Er besteht aus zwei Rollen *B* und *C*, von welchen die erstere auf die Trommel des Marey'schen Uhrwerks *A*

1) Die Dauer des Contactes kann bis resp. 0,3, 0,5 und 1 Secunde variirt werden.

(s. Fig. 1. Taf. XVII) aufgesetzt ist. Durch eine Schnurübertragung von *B* wird die Rolle *C* in Bewegung gesetzt; die eine Oberfläche dieser letzteren ist zur Hälfte (*b*) aus Metall, zur Hälfte (*c*) aus Holz gearbeitet. Die metallene Feder *d* schleift an dieser Oberfläche und kommt so abwechselnd mit der Metall- oder Holzhälfte in Berührung. Durch Zuleitung des einen Stromendes zu dieser Feder, des anderen zu der Metallplatte wird ein Schleifcontact hergestellt. Die Zeiten des Geschlossen- und Offenseins dieses Unterbrechers sind untereinander und jede derselben der halben Umdrehungdauer der Rolle *C* gleich.

Die bisher beschriebenen selbstthätigen Apparate reichen für die Fälle aus, wo nicht sehr häufige Unterbrechungen erforderlich sind.

Müssen die Unterbrechungen mehrmals in der Secunde einander folgen, dann greift man zu Vorrichtungen, in welchen die Unterbrechungen durch schwingende Federn oder Stimmgabeln erzeugt werden. Solchen selbstthätigen Unterbrechern kann man sehr verschiedene Form geben.

Sie haben sämmtlich Das gemeinschaftlich, dass sie durch Elektromagneten in Gang erhalten werden.

Ein solcher Unterbrecher ist auf Taf. XXXVII Fig. 1 abgebildet; er rührt vom Helmholtz her und wurde zuerst bei seinem Vocalapparat verwendet.

Zwischen den beiden Schenkeln *l l* des Electromagnetes ist eine horizontal stehende Stimmgabel *u* befestigt, die an ihren Enden zwei Platindräthe trägt. Diese Dräthe ragen in zwei auf Metallklötzchen stehende mit Quecksilber gefüllte Näpfe *a*.

Die Klötzchen stehen auf zwei Holzplatten, die um eine Axe bei *t* drehbar sind und durch Stellschrauben so gestellt werden, dass die Spitzen der Dräthe *i i* bequem in die Näpfe hineinragen und das unter Alkohol stehende Quecksilber gerade berühren. Die Klemmen *r* und *o* dienen zur Verbindung des Unterbrechers mit der Stromquelle.

In dem Apparate geschieht die Leitung in der Weise, dass der Strom von der einen dieser Klemmen, z. B. *r*, durch das Quecksilber zu dem Platindrath geht, die Stimmgabel und den Elektromagnet umkreist und durch die Klemme *o* hinaustritt. Der Strom ist geschlossen, wenn die Plantindräthe (oder auch einer derselben) in das Quecksilber tauchen. Da während des Schlusses des Stromes der Elektromagnet die Stimmgabel anzieht, so unterbricht er damit den Strom, indem die Spitze *i* aus dem Quecksilber austritt.

Durch diese Unterbrechung wird *l l* entmagnetisirt, die Gabel schwingt zurück, *i* taucht wieder in das Quecksilber, schliesst den Strom und das Spiel des Instrumentes beginnt von Neuem. Die so hervorgerufenen Schwingungen der Stimmgabel setzen sich in regelmässiger Reihe fort.

Lange kann aber ein solcher Apparat nicht mit derselben Regelmässigkeit arbeiten, hauptsächlich deshalb nicht weil die Verbrennung des Quecksilbers durch den Funken die Contacte bald verdirbt; man erhält dann häufiges Ausbleiben der Schliessungen und, wenn der Unterbrecher für Reizströme benutzt wird, auch bei den stattfindenden Schliessungen ungleich starke Reizungen.

Die Wegschaffung des Funkens hat schon Helmholtz versucht, und zwar bei den akustischen Versuchen, um durch dessen Geräusch nicht gestört zu werden; dies gelang ihm aber nur theilweise, und zwar durch Einschaltung eines sehr langen

und sehr dünnen Drahtes (von bedeutend grösserem Widerstande als der der Elektromagnete) zwischen den Enden der Leitung. Dieser Draht bildete so eine Nebenschliessung, deren Widerstand zu gross war, um beim Schluss des Stromes seine Wirkung auf den Elektromagnet irgendwie schwächen zu können. Erst wenn die Leitung unterbrochen ward, ging der Extracurrent des Elektromagnetes durch diesen die einzige Schliessung bildenden Draht.[1])

Aber auch diese Widerstandseinführung vermag ebensowenig wie der Alkohol die Bildung von Quecksilberschlacken zu beseitigen.

Nur in letzterer Zeit gelang es Tiegel, eine Einrichtung zu treffen, welche diesen Uebelstand fast vollständig wegschafft. Diese sehr einfache, aber höchst zweckmässige Einrichtung besteht darin, dass das Quecksilber in ein Röhrchen mit capillarer Mündung gefüllt wird, über welcher es eine convexe Kuppe bildet. Beim jedesmaligen Einschlagen der Spitze in diese Kuppe werden die verbrannten Theilchen zersprengt; ein ununterbrochen unterhaltener Alkoholstrom entfernt dabei von der Quecksilberoberfläche die Oxydhäutchen (Kronecker).

Eine sehr handliche Einrichtung dieses Capillarcontactes ist die auf Taf. XXXIX Fig. 2 abgebildete, von Kronecker angegebene.

In dem horizontalen Schenkel *c* eines T-förmigen cylindrischen Glasrohrs von etwa 1,5 Mm. Durchschnitt ist gegenüber dem verticalen Schenkel *b* eine aufgeblasene Oeffnung *a* angebracht. Der verticale U-förmig gebogene Schenkel *b* wird in der Weise mit Quecksilber gefüllt, dass dessen Kuppe *e* ein wenig in das Lumen des horizontalen Schenkels hineinreicht. Die beiden Enden dieses letzteren Schenkels sind mit Kautschukschläuchen versehen, von denen der eine zu einer Mariotte'schen Flasche geht, die mit verdünntem Alkohol gefüllt ist; stellt man dessen Niveau in gleicher Höhe mit *a*, so hat man einen genügend lebhaften Alkoholstrom durch den Schenkel *c*, um das verbrannte Quecksilber zu entfernen.[2]) Dieser Strom wird noch durch die Aufsaugung des am anderen Ende dieses Schenkels befindlichen Kautschukschlauchs befördert, der nach unten geneigt ist. Die Luftblasen, welche dieser letztere durch die Oeffnung bei *a* einsaugt, tragen auch zum Abfegen des Quecksilbers bei.

Dieser Quecksilbercapillarcontact kann mit grossem Vortheil überall da verwendet werden, wo häufige Stromunterbrechungen stattfinden. Er sichert in hohem Grade die Vollkommenheit des Schlusses und ist namentlich für das regelmässige Spiel selbstthätiger Unterbrecher, wie der eben beschriebene Helmholtz'sche, von dem grössten Nutzen.

Man kann die Stimmmgabel in solchen Unterbrechern[3]) mit Vortheil durch einen einfachen schwingenden Stab ersetzen, wie es unter Anderm in dem Bernstein'schen Unterbrecher geschehen ist.

---

1) Damit der dünne Draht selbst keinen Extracurrent erzeugt, muss er in einer Weise auf ein Brett gespannt werden, dass er keine Windungen bildet.

2) Die Einrichtung eines solchen Spülapparates findet sich in der Abhandlung von W. Stirling abgebildet.

3) Helmholtz hat der Stimmgabel den Vorzug gegeben, nur um vom Geräusche des schwingenden Stabes bei den Versuchen mit dem Vocalapparat nicht gestört zu werden.

Der Hauptvorzug eines solchen Stabes ist, dass man durch Längeveränderung seines schwingenden Theils die Zahl seiner Schwingungen in der Secunde in den weitesten Grenzen variiren kann. Diese Aenderung geschieht am leichtesten durch eine verschiebbare Stütze, die man an einer beliebigen Stelle des Stabes anbringen kann.

Auch an dem Helmholtz'schen Stimmgabel-Unterbrecher ist übrigens die Möglichkeit, die Schwingungszahl einigermaassen zu variiren, durch die Verschiebung der Klemme *k* (Fig. 1. XXXVII) an der einen Stimmgabelzinke gegeben. Der Ton der Gabel wird tiefer, die Zahl der Unterbrechungen kleiner, wenn diese Klemme zum freien Ende, und umgekehrt der Ton höher und die Unterbrechungen häufiger, wenn sie zum Stiel der Gabel genähert wird.

Ein sehr zweckmässiger Unterbrecher mit schwingendem Stabe ist der auf Taf. XXIX Fig. 5 im Querschnitte abgebildete akustische Unterbrecher von Bernstein.

Der eiserne Bügel *a a* (der dritte Arm fehlt auf der Zeichnung) trägt den Elektromagnet *e e*, dessen Eisenkern mittelst der Schraube *d* in senkrechter Richtung bewegt werden kann; um das Verschwinden des Magnetismus in ihm zu beschleunigen, ist der Kern der Länge nach kreuzweise gespalten. Die schwingende Feder *g* endet unterhalb dieses Kerns mit einer Platinspitze, die in das Quecksilbergefäss *x* eintaucht. Die Länge dieser Feder kann dadurch variirt werden, dass man sie in der Stütze *h* verschiebt und mit einer Schraube festklemmt; die Stütze *h* ist ihrerseits in der Schiene *b* beweglich.

Der Strom tritt durch die Klemme *1* ein, umkreist den Elektromagnet, geht dann durch Klemme *2* und einen Draht zu der schwingenden Feder *3* und verlässt den Apparat durch deren Spitze und das Quecksilber bei der Klemme *4*.

Auch dieser Bernstein'sche Unterbrecher wird erst ganz zuverlässig, wenn man an ihm eine dem Capillarcontacte ähnliche Vorrichtung zur Reinhaltung der Quecksilberoberfläche anbringt.

Ein sehr einfacher zu chronographischen Zwecken von Marey benutzter Stimmgabelunterbrecher von König ist auf Taf. XVII Fig. 3 abgebildet. Er hat unter Anderem die Eigenthümlichkeit, dass er ohne Quecksilberschluss functionirt.

Die Stimmgabel *B B* ist mit ihrem Stiel *A* an der Schraube *m* befestigt. Nachdem der bei *h* eintretende Strom durch einen im Grundbette befindlichen Draht zu *m* und von da zur Stimmgabel gegangen, gelangt er zu dem an die beiden Zinken angebrachten Platinbogen *d*, der mit seinem convexen Scheitel den Contact mit dem Platinkopf der durch die Gegenschraube *g* verstellbaren Schraube *f* bildet. Von *f* gelangt der Strom auf die durch die Pfeile angezeigte Weise zum Elektromagnet und verlässt durch die Klemmschraube *h* den Apparat.

Man kommt bei den physiologischen Versuchen sehr häufig in den Fall, die Richtung des Stromes wechseln zu müssen. Die meisten der von den Physikern dazu benutzten Stromwender eignen sich auch für physiologische Zwecke. Wir wollen hier nur einige der verbreitetsten beschreiben.

Die Fig. 5 auf Taf. XXXVIII zeigt den sehr handlichen Gyrotrop von Pohl. In einem Brettchen sind rechts Quecksilbernäpfchen befestigt, von denen *b* mit *y* vermittelst des Drahtes *n*, *t* mit *e* durch den Draht *l* verbunden sind; *n* und *l* dürfen sich nicht berühren. Zwei dreiarmige Metallbügel *a r q* und *w i h*

sind durch den isolirenden Glasstab *g* mit einander verbunden und bilden zusammen eine bewegliche Wippe. Der Arm *a* taucht bei jeder Stellung des Bügels in das Näpfchen *c*; dasselbe macht *i* im Näpfchen *k*. An diese beiden Näpfchen werden auch die Drahtenden des Kreises durch Klemmen befestigt.

Mit Hilfe des Glasstabes *g* kann der Wippe entweder die in der Zeichnung sichtbare Stellung gegeben werden, wobei die Arme *r* und *h* in die Näpfe *t* und *y* tauchen, oder eine andere, wobei *q* in *b* und *w* in *e* liegen.

Jede dieser Stellungen entspricht einer anderen Stromesrichtung. Befindet sich, die zu durchfliessende Leitung *v* mit *t* und *y* verbunden, so geht der Strom bei der ersten Stellung der Wippe in *k* ein und durchzieht diese Leitung durch *i*, *h*, *y*, *v*, *t*, *r*, *a*, zu *c*.

Bei der zweiten Stellung wird er den Weg von *k* durch *i*, *w*, *e*, *l*, *t*, *v*, *y*, *n*, *b*, *q*, *a* zu *c* nehmen.

Im ersteren Falle geht also in der Leitung *v* der Strom von *y* zu *t* (Richtung des Pfeiles), im zweiten von *t* zu *y*.

Das Umlegen der Wippe geschieht sehr leicht und kann auch gemacht werden, während man nach einer anderen Richtung hinsieht. Nur muss die Oberfläche des Brettchens *A* sorgfältig rein gehalten werden.

Ein zweiter von Ruhmkorff herrührender Commutator ist auf derselben Tafel in Fig. 6 dargestellt.

Die metallene Axe *o d* trägt einen Cylinder *e* von Elfenbein, an dem zwei vorragende Wülste *c* und *b* aus vergoldetem Messing angebracht sind. Die Axe *o d* ist in der Mitte von *e* getheilt und jeder ihrer Theile communicirt einerseits durch sein metallisches Lager mit einer der Klemmen *t* oder *y* und andererseits mit einer der Wülste *c* oder *b*.

Zwei vergoldete Messingbleche *h* und *i* federn gegen den Cylinder *e* und stehen das eine mit der Klemme *k* das andere mit der Klemme *l* in Verbindung. Man verbindet beim Gebrauch dieses Commutators die Klemmen *t* und *y* mit den Enden der Säule, *k* und *l* mit denen der Leitung, in welcher die Stromesrichtung gewechselt werden soll. Bei der auf der Zeichnung dem Apparate gegebenen Stellung geht der Strom von Klemme *y* zur Axenhälfte *o*, von da zum Blech *i*, Wulst *b*, durch Klemme *e*, durch die Leitung *r* zur Klemme *k*, Blech *h*, Wulst *b*, Axenhälfte *d* zur Klemme *t*.

Giebt man durch Drehung der Axe *o d* mittelst des Schraubenkopfes dem Apparate eine Stellung, bei welcher das Blech *h* gegen *c*, und *i* gegen *b* federt, so geht der Strom in entgegengesetzter Richtung, nämlich von *y* durch *o* und Wulst *c* zu *h*, durch Klemme *k* zur Leitung *r* und von da durch Klemme *l*, Blech *i*, Wulst *b* zur Klemme *t*.

Dieser Commutator wird zum Unterbrecher, wenn man die Axe *o d* so dreht, dass die Bleche nur gegen die Elfenbeintheile federn. Die Wülste sind dann nach oben und unten gerichtet und von der Leitung isolirt.

Ein sehr zweckmässiger und einfacher Commutator von Dujardin ist auf Taf. LIV Fig. 1 abgebildet.

In der kreisrunden Holzplatte *A* ist ein kleinerer Kreis *B* um seine Axe drehbar; *e* und *d* sind zwei von einander isolirte Metallplatten, denen durch Klemmen der Strom zugeleitet wird. *f* und *g* sind zwei mit ihrer Convexität gegen

einander gerichtete federnde Metallstäbchen, von denen das eine *f* immer mit *e*, das andere *g* mit *d* in Contact steht; *a* und *b* sind zwei von einander isolirte Metallplättchen, die mit den Enden der Leitung verbunden sind. *c* ist ein ebensolches Plättchen, das durch einen in der Holzplatte befindlichen Kupferdraht mit *a* in leitender Verbindung steht.

Hat der Commutator die auf der Zeichnung sichtbare Stellung, so geht der Strom von *e* durch *f* und *a* zur Leitung und kehrt durch *b*, *g* zu *d* zurück. Steht *f* auf *b* und *g* auf *c*, dann geht im Gegentheil der Strom von *e* durch *f* und *b* zur Leitung und kehrt von dort durch *a* zu *c* und weiter durch *g* nach *d*. Stellt man endlich *f* zwischen *a* und *b*, und *g* zwischen *b* und *c*, so ist die Leitung aus dem Kreise ausgeschaltet.

Durch angebrachte Stifte werden die Bewegungen der inneren Holzplatte *B* gehemmt, so dass sie nur die beschriebenen Stellungen der Stäbchen *f* und *g* zulassen.

Eine Aufgabe, die man bei elektrophysiologischen Versuchen sehr oft zu lösen hat, besteht darin, momentan die Richtung des Stromes in zwei Strecken umzutauschen (z. B. in dem Rosenthal'schen Versuch, um leicht die Wirkung des Anelektrotonus und Katelektrotonus auf die Erregbarkeit des Nerven zu demonstriren. S. u.).

Du Bois-Reymond hat zu diesem Zweck vorgeschlagen, zwei Pohl'sche Gyrotropen so neben einander auf einer Unterlage zu fixiren, dass ihre Wippen in einer Geraden zu liegen kommen. Diese Wippen vereinigt man durch ein isolirendes Verbindungsstück so mit einander, dass sie sich gleichzeitig in derselben Richtung umwerfen lassen. Die vier Klemmen auf der einen Seite der gemeinschaftlichen Axe müssen Doppelklemmen sein, da in jeder zwei Dräthe eingeklemmt werden.[1])

Eine von Wild angegebene Doppelwippe, welcher die eben beschriebene nachgebildet ist, eignet sich auch ganz gut zu demselben Zweck.

Einen ganz vorzüglichen selbstthätigen Commutator hat in letzterer Zeit Kronecker angegeben. In einer minder vollkommenen Gestalt ist er schon bei Gelegenheit seiner schönen Untersuchungen über die Muskelermüdung beschrieben und abgebildet worden. Die Fig. 1 auf Taf. XLI zeigt die spätere Verwirklichung desselben sinnreichen Princips in einer bedeutend eleganteren Gestalt.[2])

Die Einrichtung dieses von Kronecker Pendel-Commutator genannten Stromwenders ist kurz folgende: Die zwei fast genau kreisrund gebogenen Glasröhren *A* und *A'* von etwa 5 Mm. Lumen besitzen vier etwas nach aussen gebogene Mündungen *h*, *g*, *e*, *f*. Diese Mündungen werden durch Korke verschlossen und in jeden Kork zwei Platindrähte durchgestochen.

Ausserhalb jeder Mündung vereinigen sich ihre zwei Drähte zu einem Kupferdraht, der zu einem der Quecksilbernäpfchen *a*, *b*, *c* oder *d* geht, und zwar in der aus dem Schema (Fig. 2) verständlichen Weise.

---

1) Eine Zeichnung dieser Doppelwippe findet sich in einer der Abhandlungen von du Bois-Reymond. (Monatsberichte der Berliner Akademie 1859, S. 453.)

2) Ich verdanke die Zeichnung der Freundlichkeit des Erfinders.

Durch die Fortsätze k und k' werden einige Tropfen Quecksilber in jede Röhre hineingegossen, etwa so viel, bis das Endstück bis zur Biegung damit ausgefüllt wird.

Befindet sich das Quecksilber, wie auf der Zeichnung, bei e und f und sind a und b mit den Enden der Stromquelle, c und d mit dem zu durchströmenden Seiten verbunden, so geht der Strom von a durch die - — - — bezeichnete Bahn zum Quecksilber e, von da durch den zweiten +++++ bezeichneten Draht zum Näpfchen c und Leiter M, den er in der durch den Pfeil angezeigten Richtung durchkreist und bei d verlässt; von d geht der Strom durch den ..... Draht zum Quecksilbertropfen f und kehrt durch den —·— ·· Draht und das Näpfchen b zur Stromquelle zurück.

Befinden sich dagegen die Quecksilbertropfen bei g und h, so geht der Strom von S durch a, g, d nach M, c, h, b und kehrt von diesem letzten Näpfchen zur Kette S zurück. Der Leiter M wird also in der dem Pfeil entgegengesetzten Richtung durchkreist.

Die Ueberführung des Quecksilbers von e und f nach g und h wird durch die Bewegungen des Pendels CC in beliebigen Intervallen ausgeführt. Dieses Pendel durchbohrt den Balken DD, welcher vermittelst zweier an seinen beiden Enden befindlichen Schrauben aus wohlgehärtetem Stahl mit stumpfwinkligen Spitzen in den Centren von zwei flach konischen Stahllagern ll ruht.

Auf einer diesem Balken aufliegenden Platte FF ist der eben beschriebene Commutator angebracht; er besitzt an seiner Fortsetzung die bewegliche Scheibe B, welche ihn in der horizontalen Lage während der Ruhe des Pendels erhält. Die Näpfchen a, b, c, d sind paarweise jederseits in der idealen Axe, das die beiden Centren dieser Stahllager verbindet, gestellt; die in sie tauchenden Kupferdrähte sind gut isolirt und an den Spitzen amalgamirt.

Das Pendel trägt einen eisernen Anker, der von dem Elektromagnet im Moment, wo er vom Strome durchkreist ist, angezogen wird. Als Stromquelle für den Elektromagnet benutzt man ein grosses Grove'sches Element, dessen Strom man durch einen Metronom unterbrechen lässt.

Das Spiel des Commutators gestaltet sich folgendermaassen:

Nehmen wir an, der Strom des Elektromagnetes ist geschlossen, das Pendel angezogen und die beiden Quecksilbertropfen befinden sich an den Enden e und f. Nun wird der Strom durch den Metronom unterbrochen, das Pendel wird vom Elektromagnet freigelassen, durch die Neigung, die seine Bewegung den Glasröhren mittheilt, rinnt das Quecksilber den Fortsätzen k und k' zu und eilt, vermöge seiner Trägheit, in die andere Hälfte der Röhre hinüber, noch ehe das Pendel seine halbe Schwingung vollendet hat; es fällt so den Enden g und h zu, während das Pendel in seine Anfangslage zurückkehrt, wo es vom inzwischen wieder elektrisirten Magnet aufgefangen wird, um das Spiel von Neuem zu beginnen, wenn der Metronom von Neuem den Strom unterbricht.

Damit der Apparat stundenlang exact arbeitet, muss man empirisch den passenden Ausschlagswinkel mittelst angemessener Entfernung des Magnetes ermitteln, sowie durch Verschiebung des Gewichts am Pendel die geeignete Schwingungszeit wählen.

Kronecker hat auch einfache Commutatoren zum Handgebrauch nach demselben Princip nur ohne Elektromagnet construiren lassen. Sie eignen sich besonders für Versuche, bei welchen die Aufmerksamkeit des Experimentators anderweitig in Anspruch genommen ist und er dabei häufige Wendungen der Stromesrichtung vornehmen muss. Dank dem im Gegensatze zu anderen Gyrotropen hier immer gleichbleibenden Handgriff beim Umwenden der Stromrichtung, ist man vor Irrthümern leichter geschützt.

§ III. Rheochorde und Rheostate.

Bei sehr vielen physiologischen Versuchen kommt man in den Fall, genau abstufbare elektrische Reize auf Nerv und Muskel einwirken zu lassen. Werden diese Reize durch Inductionsschläge geliefert, so hat man eine bequeme Möglichkeit ihre Stärke beliebig abstufen zu können in der Veränderung des Abstandes zwischen der primären und secundären Rolle. Schwieriger ist es, dieser Aufgabe bei dem Gebrauche der constanten Ströme Genüge zu leisten.

Früher half man sich bei der Abstufung der Stärke dieser Ströme damit, dass man im Kreise verschiedene grosse Widerstände einführte. Bei der Grösse der Widerstände, welche thierische Theile dem elektrischen Strome bieten, ist diese Abstufungsweise ganz unzureichend; man müsste denn aussergewöhnlich grosse Widerstände in seiner Gewalt haben.

Wie auf den übrigen Gebieten der elektrophysiologischen Forschung, so hat auch hier du Bois-Reymond eine Methode geschaffen, die in der exactesten und bequemsten Weise der gestellten Forderung Genüge leistet. Durch die Einführung des Princips der Nebenschliessungen bei elektrophysiologischen Versuchen und seine Ausdehnung auf die Abstufung der reizenden Ströme, hat du Bois-Reymond der physiologischen Methodik einen der wesentlichsten Dienste erwiesen.

Das Princip der Nebenschliessung beruht bekanntlich auf dem Gesetze der Stromverzweigung, nach dem, wenn ein Kreis sich in mehrere Zweige spaltet, welche sich wieder zu einer Leitung vereinigen, die Stromesstärken in den einzelnen Zweigen sich umgekehrt wie ihre Widerstände verhalten.

Schaltet man also in dem Kreise, in welchem sich der Nerv oder Muskel befinden, als Nebenschliessung einen guten Leiter ein, dessen Widerstand man leicht verändern kann, so hat man damit die Möglichkeit, die Stärke des diese thierischen Theile durchkreisenden Stromes beliebig zu variiren. Ein solcher als abstufbare Nebenschliessung eingeschalteter Leiter ist das Rheochord.

Die Bedingungen, welche ein solches für physiologische Zwecke bestimmtes Rheochord zu erfüllen hat, sind mit gewohnter Schärfe von du Bois-Reymond in folgenden Sätzen zusammengefasst worden: „Erstens muss die Veränderung des Widerstandes des Nebenschliessdrahtes so geschehen, dass weder, wenn man diese Veränderung durch Verschiebung des einen Endes des Nervenkreises [1]) am Nebenschliessdrath bewerkstelligt, eine Trennung beider, noch, wenn man den Nebenschliessdrath selbst verlängert, eine Oeffnung der Nebenschliessung zu befürchten sei. In dem einen Falle würde eine nicht zum Versuch gehörige, vielleicht schäd-

1) Als Nervenkreis bezeichnet du Bois-Reymond den Stromeszweig, in welchem der Nerv sich befindet.

liche, jedenfalls unnütze Erregung stattfinden. In dem anderen würde der Nerv plötzlich dem ungeschwächten Strom der Kette ausgesetzt sein ....."

„Zweitens muss der Widerstand der Nebenleitung im Vergleich zu dem des Nervenkreises so klein gemacht werden können, dass bei der gewöhnlich angewendeten elektromotorischen Kraft keine merkliche Erregung des Nerven erfolgt....."

„Drittens sollte der Widerstand der Nebenleitung auch wiederum so gross gemacht werden können, dass die durch den Draht bewirkte Schwächung des Stromzweigs im Nervenkreise nicht mehr in Betracht komme. Dies ist bekanntlich der Fall, wenn der Widerstand der Hauptleitung gegen den der beiden Nebenleitungen verschwindet. Alsdann nehmen die Enden dieser beiden Leitungen den nämlichen Unterschied der Spannungen an, als ob jede derselben allein vorhanden wäre und die elektromotorische Kraft enthielte ....."

„Viertens darf bei Stromschwankungen keine Induction im Nebenschliessdraht stattfinden, wodurch der zeitliche Verlauf des Stromes geändert würde, auf den im Reizversuch so viel ankommt. Kann der Draht zu grosser Länge halber nicht ausgestreckt werden, so ist er im Zickzack zu führen, oder ein Theil davon ist auf Rollen halb im einen, halb im anderen Sinne zu entwickeln ....."

„Fünftens und schliesslich scheint es nämlich wünschenswerth, dass der Widerstand der Nebenleitung zwischen den unter 2 und 3 angegebenen Grenzen stetig verändert werden könne".

Das auf Taf. XXXIII Fig. 2 abgebildete Rheochord von du Bois-Reymond genügt auf das Vollkommenste den eben gestellten Anforderungen. Die Gestalt dieses Rheochords ist der des bekannten Poggendorff'schen Rheochords nachgeahmt. Seine Drähte sind auf einem flachen rundlichen Kasten angebracht von 1178 mm Länge, 175 mm Breite und 52 mm Höhe; dadurch bleiben alle seine Theile in der Reichweite des sitzenden Beobachters.

Auf dem Boden dieses Kastens sind zwei Platindrähte von 0,3 mm Durchmesser und etwas über einen Meter Länge einerseits an die Metallklötze s und s, andererseits an die Wirbel w, w' befestigt.

Neben ihren beiden Befestigungsstellen sind sie über Stege gespannt, vorne über einen Platinsteg, hinten über einen Elfenbeinsteg.

Auf einer Holzleiste unter den Platindrähten läuft ein Messingschlitten z, der zwei vorn abgerundete und hohl ausgebohrte, mit Quecksilber gefüllte Cylinder von polirtem Stahl trägt. Durch diese Cylinder, welche hinten mit Korken verschlossen sind, gehen die Platindrähte. Beim Verschieben des Schlittens werden diese Drähte durch die Korke stets rein gerieben.

Die beiden auf den Schlitten angelötheten Stahlcylinder bilden zwischen den beiden sonst überall isolirten Drähten eine gut leitende Verbindung, deren Widerstand gegen den der Röhren nicht in Betracht kommt.

Der eine Platindraht steht durch den Klotz s mit der doppelten Klemmschraube P in leitender Verbindung, die das eine Ende des Nervenkreises und der Kette aufnimmt. Der zweite Draht ist durch die Klötze s 1, 2, 3 u. s. w. mit der Klemmschraube Q verbunden, in die die anderen Enden des Nervenkreises und der Kette eingeklemmt sind.

Sind die stählernen Cylinder mit ihren Kuppen an s und s 1 gedrückt, so besteht die Nebenleitung für den Nervenkreis aus den Klötzen zwischen P und Q

und diesen beiden Cylindern nebst Schlitten. Der Widerstand dieser Nebenleitung im Verhältniss zu dem des Nerven ist so äusserst gering, dass bei dieser Anordnung des Rheochords der Nerv als von dem Strome ausgeschaltet betrachtet werden kann; jedenfalls findet, wenn nicht eine Kette von ganz ausserordentlicher elektromotorischen Kraft verwendet wird, gar keine Erregung im Nerven statt.

Bei dieser Stellung des Schlittens zeigt ein daran angebrachter Zeiger auf den Nullpunkt einer meterlangen Scale, welche, in Millimeter getheilt, auf der Schlittenbahn angeklebt ist.

Wird der Schlitten bis zu dem Elfenbeinstege am hinteren Ende des Rheochords verschoben, so werden dadurch in die Nebenschliessung 2 Meter Platindrahtes eingeführt.

Der Widerstand in der Nebenschliessung kann noch um das Zwanzigfache vergrössert werden mit Hilfe der folgenden Anordnungen.

Von *s*1 bis zur Klemme *Q* besteht die Leitung aus sechs Messingklötzchen, die auf einer Kammmasse ruhen und von einander durch fünf kleine Zwischenräume isolirt sind. Wenn in der Nebenleitung nur die beiden Platindrähte eingeschaltet werden sollen, so verbindet man diese Zwischenräume durch gut leitende Stöpsel (s. Fig. 2).

Ausser durch diese Stöpsel stehen die erwähnten Messingklötze noch durch zickzackförmig an der inneren Fläche des Kastenbodens aufgespannte Drähte in leitender Verbindung.

(Auf der Zeichnung sind diese Drähte durch punktirte Linien bezeichnet.)

Die Drähte 1*b* und 1*c* zwischen den Klötzen 1 und 2 und 2 und 3, haben denselben Widerstand wie die Platindrähte, wenn der Schlitten bis zum Elfenbeinsteg verschoben ist; zwischen 3 und 4 beträgt der Widerstand des Drahtes (II) das Doppelte, zwischen 4 und 5 das Fünffache (V), zwischen 5 und 6 das Zehnfache von jenem.

Da die Stöpsel zu diesen Drähten Nebenschliessungen von verschiedenem Widerstande darstellen, so schliessen sie bei ihrer Einschaltung die Drähte vollkommen aus der Nebenleitung zum Nervenkreise aus. Man braucht sie aber nur einzelweise zu entfernen, um die gewünschten Drähte in diese Nebenleitung einzuführen und so deren Widerstand um das Ein-, Zwei-, Fünf- oder Zehnfache vom Widerstande der Platindrähte zu erhöhen. Durch verschiedene Combination der Drähte kann man aus diesen Zahlen noch beliebig viele andere zusammensetzen.

Wie aus der beschriebenen Einrichtung ersichtlich, erfüllt dieses Rheochord die fünfte der oben gestellten Anordnungen, nämlich die des stetigen Anwachsens der Widerstände, nur zu einem geringen Theil, indem ein solches Anwachsen nur durch die Verschiebung des Schlittens an dem Paare Platindrähte, als dem zwanzigsten Theile des Gesammtwiderstandes des Rheochords, möglich ist. Bei den übrigen Drähten wird durch die Entfernung der Stöpsel der Widerstand immer nur sprungweise erhöht. Von diesem übrigens sonst ganz unwesentlichen Mangel war ein anderes von Pflüger construirtes Rheochord frei, in welchem an den ausgespannten Drähten die Widerstandsveränderungen durch Bewegung eines federnden Schiebers erzeugt werden. Diese Einrichtung hat aber manche andere Nachtheile, welche den, aus dem eben erwähnten Mangel entstehenden, bedeutend überwiegen. Das du Bois'sche Rheochord hat daher allein eine allgemeinere

Verbreitung gewonnen, wozu auch seine vorzügliche und exacte Ausführung von Sauerwald ihrerseits viel beigetragen hat.

Soll ein Rheochord zu Messungen benutzt werden, so muss es genau graduirt werden, d. h. der Widerstand der einzelnen Theile seines Drahtes muss in Normaleinheiten bestimmt werden.

In dem hier beschriebenen du Bois'schen Rheochord ist der Widerstand von J. Ranke gemessen und zu 1,03 Meilen Telegraphendraht, die Meile zu 64 Siemens'schen Widerstandseinheiten, bestimmt worden.

Die Bestimmungen der Widerstände geschehen mit Hilfe von Bussolen[1]) (s. unten die Anwendung des Universalgalvanometers von Siemens). Auch der gleich zu beschreibende Universalwiderstandskasten von Siemens gestattet eine solche Bestimmung in sehr einfacher Weise.

Braucht man bei Vorlesungsversuchen ein Rheochord von ganz geringem Widerstande, z. B. um mittelst Durchleitung eines schwachen Kettenstromes durch den Multiplicator den Nerven- oder Muskelstrom zu compensiren, so spannt man einfach auf einem Holzbrett einen dickeren Kupferdraht zwischen zwei Doppelklemmen auf. In die eine Klemme werden die Enden der Kette und des Multiplicators, in die andere das zweite Ende der Kette aufgenommen; das zweite Drahtende des Multiplicators dagegen wird zu einer engen Spirale zusammengewunden und so auf den Kupferdraht aufgezogen. Durch Verschiebung dieser Spirale wird dann die Grösse des Nebenwiderstandes geändert. Fig. 1 auf Taf. XXXVIII zeigt das Schema einer solchen Anordnung. Bei der Beschreibung der Versuchsanordnungen wird auf dasselbe noch zurückgekommen werden.

Eine sehr zweckmässige Einrichtung des Rheochords benutzt Ludwig bei Vorlesungsversuchen. In einer längeren cylindrischen Glasröhre, die vertical in einem Stative aufgestellt ist, werden zwei Platindrähte von einander isolirt eingespannt. Die oberen Enden dieser Drähte sind durch einen Deckel aus Hartgummi durchzogen und in zwei Doppelklemmen festgeschraubt. Das untere Ende der Röhre steht durch einen längeren Kautschukschlauch mit einem Glastrichter in Verbindung. Füllt man letzteren mit Quecksilber, so kann man durch sein Heben und Senken das Quecksilber in der cylindrischen Röhre auf beliebige Höhen bringen und diese Höhen auf die leichteste Weise wechseln.

Da das Quecksilber so einen Contact zwischen den beiden Drähten herstellt, so kann man auf diese Weise die Länge dieser letzteren, welche als Nebenschliessung benutzt wird, sehr schnell variiren.

Diese Einrichtung hat besonders für Vorlesungsversuche den Vortheil, dass die Aenderungen sehr schnell ausgeführt werden und die Zuschauer auch das Vorgemachte leicht verfolgen können. Auch bietet es keine Gefahr der Drahtzerreissung, eine Störung, die bei zu raschen Bewegungen des Schlittens am Du Bois'schen Rheochord gerade nicht selten eintritt.

Wir wollen am Schlusse noch einen unlängst von Werner Siemens[2]) con-

---

1) Ueber eine directe und einfache Weise, das Rheochord zu graduiren, siehe Wiedemann: Galvanismus etc. 1. Bd. 1. Abthl. 1872 p. 241.

2) Die Beschreibung des Apparates ist, soweit mir bekannt, bis jetzt nur in einer lithographischen Notiz veröffentlicht werden, die ich in den folgenden Zeilen benutze.

struirten Universalrheostaten beschreiben, der sich vorzüglich für Messungen von Widerständen in Leitern und Ketten und von elektromotorischen Kräften eignet, also in der Physiologie mannigfache Verwendung finden kann. Der Apparat ist auf Taf. XLVII Fig. 1—4 abgebildet.

Er besteht aus einem vollständigen Widerstandskasten *A* von 1—5000 Siemens'schen Einheiten und aus drei hinzugefügten Theilen *B*, *C*, *D*, die ebenfalls Rollen von bestimmten Widerständen enthalten.[1]) Die Fig. 1 der besagten Tafel zeigt den den Kasten oben abschliessenden Deckel aus Kammmasse, an welchem die messingenen Klötze, durch Zwischenräume von einander getheilt, angebracht sind.

Jeder Klotz ist mit einer Rolle von bestimmtem Widerstande verbunden, dessen Grössen, in Siemens'schen Einheiten ausgedrückt, daneben verzeichnet ist.

Die diese Rollen bildenden Drähte sind aus Neusilber, doppelt mit Seide übersponnen und bei 20°C justirt mit einer Genauigkeit von $^1/_2$ pro mille; dies entspricht etwa der Veränderung, welche der Widerstand durch das Schwanken der Temperatur um 1°C erleiden kann. Die Ein- und Ausschaltung der Rollen geschieht wie beim früher beschriebenem du Bois'schen Rheochord mit Hilfe der Stöpsel, welche in die ausgeschliffenen Kehlen der Messingklötze genau hineinpassen; man muss sie beim Hineinstecken etwas eindrehen, damit sie genau sitzen.

Besonders hervorzuheben ist die zur Messung der Bruchtheile einer Einheit getroffene Einrichtung. Wie im du Bois'schen Rheochord, bestehen sie aus zwei sorgfältig gezogenen Platindrähten, die bei *a* und *c* eingespannt sind. Als sie verbindende Brücke wird hier der Läufer *a* benutzt, dessen oberer Theil aus Messing, dessen unterer aus einer Bleiplatte besteht.

Die Kante, mit welcher der messingene Theil den Platindrähten anliegt, ist aus Gold gearbeitet. Wenn der Stöpsel *b* am Anfang der Platindrähte gelöst ist, so durchfliesst der Strom zuerst den einen Platindraht, dann den Läufer und den zweiten Platindraht. Bei jedem einzelnen Instrumente muss der Widerstand dieser Drähte besonders gemessen und von Zeit zu Zeit die Messung wiederholt werden, da die Spannung der Drähte sich verändert. Ungefähr 250 Mm. dieses Doppeldrahtes gleichen einer Siemens'schen Einheit; 0,2 bis 0,3 mm entsprechen also 0,001 S. E.

Bei der Ablesung des Standes des Läufers braucht er nicht genau senkrecht eingestellt zu werden. Es genügt die Ablesung auf beiden Drähten zu machen und aus den erhaltenen Zahlen das Mittel zu nehmen. Die Ablesung muss dabei immer auf der ebenen Seite der Kante (die andere Seite ist konisch zugeschliffen) geschehen und der Fehler, der bei dieser Ablesung aus der etwas abgerundeten Form der Kante entsteht, wird ein für allemal bestimmt. Dies geschieht in der Weise, dass man den Läufer genau einstellt, seine Stellung abliest, dann ihn herausnimmt, umgekehrt wieder in dieselbe Stellung einsetzt und von Neuem abliest: die halbe Differenz der beiden Ablesungen ist dann der gesuchte Fehler. Bei jeder späteren Ablesung wird er hinzugefügt.

Der Rheostat kann zu ganz genauer Messung der elektromotorischen Kräfte,

1) Durch Ansetzen der Theile B, C, D an einen gewöhnlichen Siemens'schen Rheostaten kann man ihn zum Universalwiderstandskasten umgestalten.

der Widerstände von Leitern und der Widerstände von Elementen benutzt werden. Zuerst soll die Anordnung für die Messung von Widerständen gegeben werden

Zur Versinnlichung der bei der Messung von Widerständen und Leitern erforderlichen Benutzungsweise des Instruments dient die schematische Figur 3.

Die Messung geschieht nach der unter der Bezeichnung der Wheatstone-schen Brücke bekannten Methode.

Die Stöpsel der Rollen von B und C werden in der Weise eingestellt, dass in jedem von ihnen der gleiche Widerstand enthalten ist, und zwar ein dem zu messenden Widerstande annähernd gleicher. Das Galvanometer wird zwischen den Klemmen II und IV, die Kette zwischen den Klemmen I und V und der zu messende Widerstand W zwischen den Klemmen I und VI eingeschaltet.

Durch Druck an die Taster t und s werden nun beide Widerstände in den Kreis des Galvanometers eingeführt und man braucht jetzt nur an den Stöpseln von A so lange die Zahl der Widerstände zu variiren, bis die Nadel des Galvanometers auf 0 stehen bleibt. Da das Galvanometer erst dann keinen Ausschlag giebt, wenn der eingeschaltete Widerstand von A in demselben Verhältniss zu W, wie der Widerstand B zu C steht, so wird:

$$W = A \frac{C}{B}.$$

Da die Rollen D bei dieser Messungsweise nicht benutzt werden, so müssen die zugestöpselt werden; dies ist auf dem Schema durch die beiden ganz schwarzen Kreise angezeigt. (Die einmal gestrichenen Kreise, z. B. bei III Fig. 3, bedeuten in diesen Schemas, dass die Stöpsel an diesen Stellen bei den entsprechenden Messungen entfernt werden müssen, die doppelten Kreise, dass sie stecken können, die schwarzen, dass sie stecken müssen.)

Soll mit diesem Rheostaten der Widerstand von Batterien gemessen werden, so geschieht dies nach der Siemens'schen Methode folgendermaassen:

Die Verbindungen werden, wie auf der Fig. 2 gezeichnet, hergestellt. Die Batterie deren Widerstand durch r ausgedrückt ist, zwischen den Klemmen I und IV, das Galvanometer zwischen II und III eingeschaltet. (Stöpsel III ist entfernt.)

Verbindet man durch Andrücken des Tasters s die Batterie mit dem Galvanometer, so bekommt man einen Ausschlag von dessen Nadel; dieser Ausschlag verändert sich, wenn man durch Andrücken von t einen neuen Widerstand in den Galvanometerkreis einführt. Man variirt nun die Widerstände in A und D so lange, bis die Nadel des Galvanometers keinen neuen Ausschlag beim Niederdrücken des Tasters t macht. Für die Genauigkeit der Messung ist es am günstigsten, dem Widerstande (g) des Galvanometers, dem von D, solche Werthe zu geben, dass der von A klein wird. Die Messung wird auch genauer, wenn man dabei B und C auch in den Kreis einschaltet, und zwar in einer Weise, dass der Widerstand dem der übrigen annähernd gleich kommt. Der Widerstand der Batterie bei dieser Bestimmung wird ausgedrückt durch

$$r = g + D - A.$$

Das Schema der Fig. 4 zeigt die bei Vergleichung elektromotorischer Kräfte nothwendigen Anordnungen und Verbindungen. Diese Vergleichung geschieht nach der Poggendorff'schen Methode (s. u.). Wenn man durch r_1 den Wider-

stand der Batterie E_0 + dem der Zuleitung ausdrückt, so ist die gesuchte elektromotorische Kraft

$$E = \frac{A + B + D}{A + B + D + C + r_0} E_0.$$

Die Verwendung feuchter Rheostaten bei elektrophysiologischen Versuchen (wie sie z. B. Harless gemacht hat) zur Messung von Stromesstärken und Widerständen ist sehr mühsam und zeitraubend und giebt wegen der unvermeidlichen Polarisation u. s. w. zu vielen Fehlern Veranlassung.

Ueber die Handhabung und die Vorsichtsmaassregeln bei Anwendungen des beschriebenen du Bois'schen Rheochords wird im zweiten Theile dieses Capitels gehandelt.

Dort findet auch die Beschreibung des Schwankungsrheochords von Du Bois-Reymond Platz, der nur bei speciellen Versuchsanordnungen seine Verwendung findet.

§ IV. Einrichtung und Handhabung des Multiplicators.

Die immer mehr zunehmende Verbreitung der Spiegelbussolen bei elektrophysiologischen Untersuchungen hat den Multiplicator etwas in den Hintergrund gestellt; die grossartigen Dienste aber, die dies Instrument der Elektrophysiologie geleistet, die ungemeine Vollkommenheit, welche seine Einrichtung unter den schöpferischen Händen von du Bois-Reymond erlangt hat, weisen dem Multiplicator auf immer einen der ersten Ehrenplätze in der physiologischen Methodik an.

Dies allein würde schon eine ausführliche Beschreibung des Multiplicators rechtfertigen. Eine solche wird aber darum noch besonders erforderlich, weil dieses Galvanometer noch immer in den physiologischen Laboratorien die meiste Verbreitung hat und es vor der Spiegelbussole in einigen Fällen, besonders wo es nicht auf Messungen ankommt, noch manchen Vortheil bietet.

Die vollkommenste Gestalt hat der Multiplicator nach jahrelangen Veränderungen in dem auf Taf. XLIV Fig. 5 abgebildeten Instrumente von du Bois-Reymond erhalten.

Das Gestell dieses Multiplicators besteht aus einer durch drei Speichen und einen dickeren Ring am Umfange verstärkten Rothgussplatte, die auf drei Stellschrauben ruht. Unter jede Stellschraube wird beim Aufstellen des Instruments eine auf ein Spiegelglas angekittete Messingplatte gelegt; zwei von den Messingplatten sind mit Schlitzen, eine mit einer konischen Vertiefung im Centrum versehen. Die Glasstücke werden an der Console durch Umgiessen mit Kolophonkitt befestigt. Im Centrum der Platte *d* dreht sich die Axe einer unten offenen Messingbüchse *k*, deren Rand dabei an der Oberfläche von *d* schleift. Die Büchse *k* besitzt einen Schraubengang ohne Ende, in welchen die, an der Platte *d* angebrachte Mikrometerschraube *y* passt. Mittelst dieser Schraube kann man die Büchse *k* auf der Platte sehr fein bewegen. Eine Kreistheilung auf der Platte *d* und ein verschiebbarer Nonius auf der Büchse *k* gestatten den Drehungswinkel genau abzulesen.

Die Büchse *k* ist zur Aufnahme des Rahmens *e* aus Buchsbaumholz bestimmt, auf welchen die Drähte aufgewickelt werden.

Die Fig. 4 zeigt die Einrichtung des Rahmens. Derselbe besteht aus zwei verticalen Holzplatten *A*, die zwei Seitenwände bilden und durch Querleisten *ol* untereinander verbunden sind. Auf der Höhe dieser Querleisten sind in den Seitenwänden Einschnitte für den Spielraum der unteren Nadel gemacht. Die äusseren Flächen der Querleisten sind allerseits abgerundet, so dass ihr senkrechter Durchschnitt einen zur Drehungsaxe des Multiplicators senkrechten Kreisbogen bildet. Auf die Querleiste sind zwei Stäbchen *ac* aufgesetzt. In den Zwischenräumen zwischen den Seitenwänden und diesen Holzstäbchen werden die Drähte aufgewickelt.

Die zur Umwickelung benutzten Drähte sind doppelt mit Seide besponnen. Man kann das doppelte Ueberspinnen vermeiden, wenn man die Drahtlagen gut firnisst.

Tyndall machte darauf aufmerksam, dass die zum Bespinnen gewöhnlich gebrauchte Seide Eisen enthalte; er zieht daher weisse Seide vor. Man würde aber nur dann erst ganz anziehungsfreie Drähte bekommen, wenn das Kupfer, aus dem sie gefertigt sind, auch eisenfrei wäre. Ein solches ist aber sehr schwer zu erhalten.

Der verwendete Kupferdraht wird in den neuerdings von Sauerwald gelieferten Multiplicateren durch Stein gezogen. Man hoffte auch durch Anwendung galvanoplastischen Kupfers eisenfreie Drähte zu erhalten; wie Magnus gezeigt hat, ist dies aber nicht der Fall. Der in England verfertigte Draht scheint den anderen vorgezogen werden zu müssen, da Tyndall von elf Proben benutzten Drahtes neun diamagnetisch fand.

Das Aufwickeln des Drahtes muss sehr sorgfältig ausgeführt werden. Gewöhnlich werden in dem zu physiologischen Zwecken benutzten Multiplicator die Drähte doppelt gelegt und dann aufgewunden. Man erhält dadurch die Möglichkeit, nach Belieben die ganze oder halbe Zahl der Windungen zu verwenden. Auch kann man eine halbe Zahl der Windungen eines Drahtes von doppeltem Querschnitt, also von um die Hälfte geringerem Widerstande benutzen, wenn man, wie unten gezeigt wird, die Drähte nebeneinander verbindet.

Du-Bois-Reymond wendete zum Aufwinden des Drahtes ein Verfahren an, das wir hier mit seinen eigenen Worten mittheilen: „Von einer Drehbank wurde die Schnur entfernt und ein Futter aufgeschraubt, worin ein schwach keilförmiges Messingstück eingelassen war, welches am Rahmen in den Spielraum für die untere Nadel passte. Der Rahmen wurde auf das Messingstück gesteckt, durch eine vorgelegte Platte, welche gegen dasselbe durch Schrauben gezogen werden konnte, befestigt, und drehte sich nunmehr mit der Spindel dergestalt, dass seine Seitenwände in Einer senkrechten Ebene blieben. Dem Rahmen gegenüber waren, an einer wagerecht ausgespannten Schnur als Axe drehbar, die beiden gleichzeitig abzuwickelnden Drahtrollen neben einander angebracht. Der aus der Hand gedrehte Wirbel trieb durch einen Schnurlauf aus vulcanisirtem Kautschuck ein Zählerwerk, welches die Zahl der doppelten Umgänge selbst dann unmittelbar richtig angab, wenn einmal, wie dies zuweilen geschah, dazwischen hatte abgewickelt werden müssen."

„War eine Lage fertig, so wurde jeder der beiden Drähte auf seine Unversehrtheit geprüft. Hiezu verband ich sein freies Ende mit dem einen Poldraht

einer Daniell'schen Kette. Der andere Poldraht hing mit dem einen Ende des Multiplicators mit kurzem Draht zusammen. Das andere Ende des Multiplicators war mit einem Draht versehen, der in eine feine Stahlspitze (eine alte Staarnadel) auslief. Die Stahlspitze versenkte ich in die Bewickelung des zu prüfenden Drahtes. Sodann wurde dieselbe Prüfung vorgenommen, in dem das freie Ende des einen Drahtes mit der Kette in Verbindung stand, und die Stahlspitze in die Bewickelung des anderen Drahtes versenkt wurde. Dies hatte zum Zwecke, sich zu überzeugen, dass wirklich beide Drähte von einander isolirt seien. Es musste nämlich alsdann die Multiplicatornadel unbeweglich bleiben. War auf diese Weise die Lage untadelhaft befunden, so wurde sie mit einer unfiltrirten Lösung von ostindischem Copalharz in wasserfreiem Aether gefirnisst und die folgende Lage begonnen."

„Fand ich den Draht irgendwo zerrissen, so wurde er in etwa 10 Mm. Länge zusammengedreht, in einer Strecke von wenigen Millimetern mit Zinn verlöthet und wieder mit Seide bewickelt. Das Zusammendrehen über die Löthung hinaus ist nothwendig, weil das Kupfer durch Legirung mit dem Zinn leicht ausserordentlich brüchig wird. Beim Löthen hat man darauf zu achten, dass nicht Zacken und Spitzen am Loth sich bilden. Diese drücken sich leicht durch die Seide der benachbarten Windungen bis zur metallischen Berührung hindurch, sodass entweder Windungen derselben Leitung ausser Thätigkeit oder beide Leitungen mit einander in Verbindung kommen. Das Wickeln einer jeden Lage erforderte im Durchschnitt über eine halbe Stunde." (Untersuchungen etc. Bd. II. S. 480.)

Es wird nicht überflüssig sein, die Dimensionen der verschiedenen Theile des in letzterer Zeit von du Bois-Reymond benutzten Multiplicators hier anzugeben. Die Platte *d* hatte 172 Mm. Durchmesser, die Messingbüchse *k* 138 Mm. Durchmesser und 15 Mm. Höhe. Die Länge des Holzrahmens im Lichten betrug 43, seine Breite im Lichten 41 Mm., die Dicke der Querleisten 3 Mm., die Länge der Seitenwände 117, ihre Höhe 81 Mm.

Die Länge des Drahtes betrug nahe an 5106 M., sein Durchmesser war 0,15 Mm. Da das Drehungsmoment, welches die Windungen auf die Magnetnadeln ausüben, um so grösser ist, je näher sie den Nadeln sind, so machte er den inneren Raum der Windungen so klein, als es nur mit der freien Beweglichkeit der unteren Nadeln verträglich war.

Die Höhe und Länge des Spielraums war daher sehr klein gewählt worden (3 und 43 Mm.).

Die Zahl der Windungen betrug 24160. Die neuesten von Sauerwald gefertigten Multiplicatoren besitzen 30000 und mehr Windungen.

Nachdem der Draht auf den Rahmen gewickelt ist, wird auf seine oberen Ränder die Theilung (s. u.) angebracht und möglichst genau centrirt. Darauf schraubt man ihn auf die Messingbüchse auf, und zwar in der Weise, dass die Ebene der Windungen, zu der der Bügel *n n* senkrecht zu stehen kommt.

Die besondere Aufhängungsweise der Nadeln gestattet es, die Rahmen mit der Drehaxe der Büchse nicht ganz genau centrirt zu lassen.

Wegen ihrer doppelten Verbindungsweise in den zu physiologischen Zwecken bestimmten Multiplicatoren haben die aufgewundenen Drähte vier Enden. Diese Enden werden durch kleine Löcher in der Seitenwand des Rahmens und von da zu

den mittelst Elfenbein isolirten Klemmschrauben *a b* geführt, die an die Büchse *m* befestigt sind.[1] Von diesen letzteren gehen sie zu den vier auf dieselbe Weise isolirten Klemmschrauben *t t* der Platte *d*. Die Enden der Drähte sind auf dieser Platte mit den Buchstaben *A, a, E, e* bezeichnet.

Der Theil des Multiplicators, auf den die meiste Sorgfalt verwendet werden muss, ist das astatische Nadelpaar. Die von du Bois-Reymond benutzten Nadeln sind cylindrisch und scharf zugespitzt.[2]

Du Bois bereitete sie aus zwei Stücken vom besten englischen Stahldraht, den man in einem Bügel ausgespannt, geglüht und gehärtet hat. (Man kann auch zwei englische Nadeln dazu verwenden.) Die beiden Stücke oder Nadeln werden durch ein Stückchen Schildpatt oder Elfenbein verbunden; dasselbe muss sehr leicht sein, damit sein Trägheitsmoment möglichst gering ist und das System von einem momentanen, den Multiplicator durchlaufenden Strom weit abgelenkt wird.

Die beiden Löcher für die Nadel in dem Schildpattstück werden mit auf der Drehbank in der Weise durchbohrt, dass sie ganz parallel sind.

Das zu einem System verbundene Nadelpaar wird in einer hölzernen Blechklemme zwischen Korkstückchen eingespannt und die gegenüberliegenden Enden beider Nadeln werden an den Polen eines Hufeisenmagnetes gleichzeitig bis zur Sättigung gestrichen.

Die obere Nadel sucht man dabei etwas stärker zu magnetisiren; durch ein entgegengesetztes Streichen dieser stärkeren mit einem schwachen Magnet (also Bestreichen des Nordpols mit dem Nordpol und umgekehrt) wird dann der oberen ein Theil des Magnetismus wieder entzogen. Man muss dabei darauf achten, dass diese Schwächung nicht so weit gehe, die obere Nadel zur schwächeren zu machen; ist dies aus Unvorsichtigkeit geschehen, so muss man sie von Neuem bis zur Sättigung streichen. Die Prüfung der möglichst gleich starken Magnetisirung geschieht dadurch, dass man die Dauer bestimmt, welche das aus der Meridianstellung herausgebrachte System zu einer ganzen Schwingung braucht.

Je grösser diese Dauer, desto vollkommener ist die Astasie. Bei mehr als 30 Secunden Schwingungsdauer kann das System schon benutzt werden.

Die Theilung, welche auf dem Rahmen ruht, ist auf einer viereckigen Elfenbeinplatte[3] angebracht. Wegen der Kürze des Durchmessers des eingetheilten Kreises zeigt die Theilung nur jeden zweiten Grad.

Handelt es sich um genaue Ablesung von schwachen Nadelablenkungen von ein Paar Graden, so muss man zu einem Fernrohr seine Zuflucht nehmen, das man am besten auf einem kreisrunden Schlitten um den Multiplicator herum beweglich anbringt.

Ganz besondere Sorgfalt muss auf die Aufhängungs- und Befestigungsweise der astatischen Nadeln verwendet werden.

---

1) Damit die dünnen Drähte nicht am Loch abbrechen, löthete du Bois an die Multiplicatordrähte zwei stärkere zugespitzte Kupferdrähte an, die dann weiter zu den Klemmen gingen.

2) Ihre Länge betrug 37,5, ihr Durchmesser 0,7 und ihre Entfernung von einander 40,5 Mm.

3) Auf dem erhöhten Rand, den diese Platte früher zum Schutz gegen Lufterschütterung etc. besass, hat du Bois später verzichtet.

Zu diesem Zwecke dienen zwei auf der Büchse *k* angebrachte verticale Messingstäbe *n n*, deren Verbindungslinie gegen die Ebene der Drahtwindungen um 90° geneigt ist. Oben sind diese Stäbe mit einander verbunden und tragen die Fassung *l*, welche durch drei seitliche Schrauben centrirt werden kann. Ein viereckiges Loch durchbohrt vertical diese Fassung und nimmt einen vierseitigen, oben mit einer Schraube endenden Stab in sich auf. (Diese Fassung ist auf Fig. 7 abgebildet.)

Auf dieser Schraube dreht sich eine messingene Kugel, die durch einen über die Schraube gehenden Bügel an der Fassung fixirt ist. Bei der Drehung der Kugel wird das erwähnte Stäbchen nach oben oder unten in verticaler Richtung verschoben, ohne dabei irgendwie gedreht zu werden.

An sein unteres Ende ist ein Häkchen befestigt, an welches das astatische Paar mittelst eines stärkeren Coconfadens oder, noch besser, eines rohen, in Seifenwasser abgekochten Seidenfadens aufgehängt wird. Fig. 6 zeigt ein solches Nadelpaar.

Der Abstand der beiden Nadeln von einander ist genau so gewählt, dass, während die untere Nadel gerade in dem inneren Zwischenraume der Windungen sich befindet, die obere genau über die Theilung hin- und herschwingen kann.

Besondere Aufmmerksamkeit verlangt auch die genaue Centrirung des Nadelpaares.

Ist es excentrisch aufgehängt, so wird es beim Durchgang eines Stromes durch den Multiplicator nach der einen Seite mehr gezogen und geräth in pendelartige Schwingungen.

Die Nothwendigkeit der centrischen Stellung des Nadelpaares ist auch dadurch bedingt, dass die Längeveränderungen des die Nadeln tragenden Fadens nur dann keinen Einfluss auf die Wirkungsweise der eisenhaltigen Drahtmassen, sowie des Berichtigungsstäbchens (s. u.) auf die Stellung der Nadeln ausüben wird, wenn die Ebene, in welcher die Axen beider Nadeln liegen, zusammenfällt mit der, welche das Gewinde gerade der Länge nach in zwei gleiche Hälften theilt. Dieses Zusammenfallen ist nur bei vollkommen centrischer Stellung der Nadel möglich.

Es braucht nicht erst hervorgehoben zu werden, dass diese Stellung auch für eine ganz richtige Ablesung erforderlich ist.

Die Theilung trägt an den um 90° von dem Nullpunkt abstehenden Punkten zwei feine Glimmerblättchen, welche als Hemmungen für die schwingende Nadel dienen und sie vom völligen Umschlagen abhalten. Die Oeffnungen an den Seitenwänden des Rahmens sind durch Glasplatten verschlossen.

Eine auf dem Rand der Messingbüchse *k* ruhende Glasglocke schützt das ganze System vor Luftzug, Staubverunreinigung u. s. w.

Zum Austrocknen der Luft unter dieser Glocke, um den Längenveränderungen des Fadens durch Feuchtigkeit vorzubeugen, stellt du Bois kleine flache Porzellangefässe unter die Glocke, die mit Kali causticum fusum gefüllt sind.

Das Austrocknen der Luft ist auch für den Isolationszustand der Drahtmasse günstig.

Der in dieser Weise in seinen wesentlichsten Theilen beschriebene Multiplicator besitzt eine ganz ausserordentliche Empfindlichkeit und eignet sich also vorzüglich zur Beobachtung ganz schwacher Ströme, wie die, mit welchen es die

Physiologie zu thun hat. Seine ausserordentliche Empfindlichkeit verdankt das Instrument bekanntlich der grossen Zahl der Windungen und der Anwendung des astatischen Nadelpaares.

Das astatische System wurde zuerst von Nobili bei Galvanometern angewendet und zwar, um die Schwingungen der Magnetnadeln von der Richtkraft des Erdmagnetismus unabhängig zu machen. Da die beiden zusammengefügten Magnete ihre entgegengesetzten Pole nach derselben Seite gekehrt haben, so werden sie vom Erdmagnetismus nur mit einer Kraft gerichtet, welche der Differenz der beiden Momente der Nadeln entspricht. Wenn daher auf diese Nadeln eine andere Kraft in demselben Sinne ablenkend wirkt, so wird die ablenkende Kraft des Erdmagnetismus in demselben Maasse abnehmen, in welchem die neue Kraft zunimmt.

Diese Nadeln werden in dem Multiplicator in der Weise aufgehängt, dass die obere Nadel oberhalb der Drahtwindungen, die untere innerhalb derselben aufgehängt ist. Vergegenwärtigt man sich die Ampère'sche Regel [1]), welche die Richtung bestimmt, in welcher ein von einem Strome durchkreister Magnet abgelenkt wird, so wird man leicht einsehen, dass bei der Aufhängungsweise des astatischen Systems die Drehungsmomente, welche ein Strom auf die beiden Nadeln ausübt, sich addiren, während die vom Erdmagnetismus ausgehenden sich subtrahiren müssen.

Ist das magnetische Moment der beiden Nadeln nicht ganz gleich, so erhält gewöhnlich die eine von ihnen das Uebergewicht und das System stellt sich doch in der Richtung des Meridians ein. Ist dagegen auf die oben angegebene Weise für die möglichst gleiche Magnetisirung der beiden Nadeln gesorgt, ist also ihre Schwingungsdauer ziemlich gross, so beobachtet man, dass die Nadeln eine Gleichgewichtslage einnehmen, welche gewöhnlich zum Meridiane senkrecht ist. Diese Ablenkung der Nadeln nennt man die freiwillige Ablenkung.

Die freiwillige Ablenkung hängt davon ab, dass die beiden Nadeln nie vollkommen parallel zu einander befestigt werden können, sondern mit einander einen kleinen Winkel bilden.

Je kleiner dieser Winkel ist, um so grösser ist die Abweichung der Nadelstellung von dem Meridiane; bei einer sehr vollkommenen Art der Befestigung, wo dieser Winkel unmerkbar klein ist, stellen sich die Nadeln annähernd senkrecht zum Meridiane ein.[2])

Die freiwillige Ablenkung hat an und für sich weiter keine störende Bedeutung bei dem Gebrauch des Multiplicators. Sie erfordert nur, dass man bei Einhängung des Systems in die Windungen die Messingbüchse *k* so lange auf der Platte *d* verschiebt, bis die Spitze der oberen Nadel auf den Nullpunkt der Theilung zeigt.

---

1) Denkt man sich den menschlichen Körper in den Strom eingeschaltet, in der Weise, dass der Strom durch die Füsse eintritt und durch den Kopf wieder austritt, und ist das Gesicht dabei der Nadel zugewandt, dann wird stets der Nordpol der Nadel nach der linken Seite des Körpers gedreht.

2) Nobili hat schon den richtigen Grund der freiwilligen Ablenkung erkannt. Moser hat alle von derselben abhängigen Erscheinungen erschöpfend erklärt.

Hängt man das System in die Windungen ein, so bemerkt man gleich, dass es, anstatt seine frühere stabile Gleichgewichtsstellung zu behalten, bald diesseits, bald jenseits der Nulllinie herumzuschwanken beginnt.

Diese störende Erscheinung hängt von dem Magnetismus der zum Multiplicator verwendeten Kupferdrähte ab, welche nie ganz eisenfrei zu erhalten sind.

Der von den Nadeln in diese Drähte inducirte Magnetismus ist in der Richtung der Diagonalen des Multiplicatorrahmens am grössten, weil bei der beschriebenen Windungsweise in dieser Richtung sich die grösste Masse der Kupferdrähte befindet. Die Nadeln haben daher zwei stabile Gleichgewichtslagen rechts und links vom Nullpunkt (gewöhnlich etwa bei 25 Grad). In der Mittellinie der Windung, da wo der Rahmen halbirt ist, befinden sich die Nadeln wegen der gleichen Stärke des in beiden Hälften inducirten Magnetismus in einer stabilen Gleichgewichtslage.

Um diese den Multiplicator unbrauchbar machende Störung zu beseitigen, sind verschiedene Mittel versucht worden. Da es bis jetzt nicht gelungen ist, ganz eisenfreies Kupfer zu erhalten, so waren diese Mittel meistens auf die Compensation dieser Ablenkung durch die Drahtmasse gerichtet.

Solche Compensationsmethoden sind von Péclet, Melloni, Ruhmkorff u. A. vorgeschlagen worden.

Bei elektrophysiologischen Versuchen ist von Matteucci die Ruhmkorff'sche Methode angewendet worden. Sie besteht darin, dass oben auf der Fassung, welche den Haken für die Aufhängung des Nadelsystems trägt, zwei schwache Magnetstäbe aufgesetzt sind. Ihre oberen ungleichnamigen Pole berühren einander, während die unteren mittelst eines Charniers um einen beliebigen an einem Gradbogen abzulesenden Winkel von einander entfernt werden können.

Die Compensation wird durch ein passendes Einstellen der Magnete erreicht. Diese Compensationsweise ist schwer vollkommen auszuführen; sie leidet ausserdem an mehreren Mängeln.

Viel einfacher und zweckmässiger ist das von du-Bois-Reymond eingeführte Compensationsverfahren.

Es besteht darin, dass man gegenüber dem Nullpunkt der Theilung die etwa 0,5 Mm. lange Spitze einer harten stark magnetisirten Perlnadel in der Weise anbringt, dass sie gerade die Ablenkung durch die Drahtmassen aufhebt.

Auf der Zeichnung 5 Taf. XLIV sieht man innerhalb der Glasglocke den Messingarm *c*, der die Spitze trägt. Die Schraubenvorrichtung ausserhalb der Glasglocke mit den Schrauben *r* und *i* dient dazu, die Spitze nach rechts und links, in der Richtung zum und vom Nullpunkte zu bewegen.

Der Hauptvorzug dieser du Bois'schen Compensationsmethode liegt darin, dass die magnetische Spitze wegen ihrer Kleinheit nicht im Stande ist, ihre Wirkung in grösseren Entfernungen vom Nullpunkt auf das astatische System auszuüben und dessen Elongation wesentlich zu beschleunigen.

Dagegen kann diese Compensationsweise nur bei einem vollkommenen astatischen System von Nutzen sein, da die Wirkung der verwendeten magnetischen Spitze bei weiteren Elongationen die Astasie nicht herstellen kann.

Bei den anderen Methoden ist dies ja der Fall; bei ihnen kann auch bei bedeu-

tenden Ablenkungen die Ungleichheit der Nadeln durch den compensirenden Magnet ausgeglichen werden.

Nach längerem Gebrauche des Multiplicators bemerkt man leichte Aenderungen in der Gleichgewichtslage des astatischen Systems. Dies rührt von Aenderungen des Magnetismus der Nadeln her. Da der Multiplicator zu wirklichen Messungen untauglich ist und nur zur annähernden Schätzung der Stromintensitäten verwendet werden kann, so genügt es meistens bei solchen Aenderungen der Richtkraft des astatischen Systems, durch eine Verschiebung der compensirenden Nadel es wieder auf den Nullpunkt zurückzuführen.

Das Aufstellen des Multiplicators geschieht am besten auf einer Stein- oder Holzconsole an der nördlichen [1] Wand in der Nähe eines Fensters und des Arbeitstisches. Die Console wird am besten ohne Hilfe von Eisenstücken befestigt.

Die zuleitenden Drähte dürfen nie unmittelbar an die Klemmen des Multiplicators, sondern nur mittelbar durch an der Console angebrachte Klemmschrauben befestigt werden. Man verbindet die Enden des Multiplicators ein für allemal mit diesen Klemmschrauben, die man mit denselben Buchstaben A, a, E, e bezeichnet.

Zuerst wird auf der Console die Rothgussplatte mit der Messingbüchse aufgestellt und mit Hilfe einer kreisrunden Wasserwage genau horizontal gerichtet.

Darauf wird der Rahmen an die Büchse angeschraubt und von Neuem mittelst einer Wasserwage der Theilung eine wagerechte Stellung gegeben. Sodann wird in die Fassung l das astatische System vorsichtig eingehängt, nachdem man ihre freiwillige Ablenkung vorher bestimmt und den Drahtwindungen eine Stellung gegeben hat, bei welcher deren Halbirungslinie mit der Richtung dieser Ablenkung annähernd übereinstimmt. Ist dies geschehen, so centrirt man auf das Genaueste die Stellung der Nadeln, wozu man sich der drei in der Fassung befindlichen Centrirschräubchen bedient. Durch Drehung der an der obersten Schraube angebrachten Kugel wird die Länge des Stäbchens, an dem die Nadeln hängen, so gewählt, dass die obere Nadel der Theilung so nahe als möglich zu liegen kommt, ohne dass ihrer freien Beweglichkeit Abbruch gethan ist.

Durch Einstellung der magnetischen Spitze mittelst Drehung der Schrauben i und r wird dann die Ablenkung durch die Drahtmassen compensirt und die Nadel auf den Nullpunkt eingestellt. Man stellt auf die Elfenbeinplatte, welche die Theilung trägt (natürlich ausserhalb des Schwingungsbereichs der Nadel), die Porzellangefässe mit Kali causticum und bringt über den Multiplicator die Glasglocke an. Das Instrument ist dann zur Benutzung bereit.

Will man die Schwankungen der Nadeln einem grösseren Zuhörerkreise sichtbar machen, so bringt man nach du Bois-Reymond's Vorgange auf die obere Nadel ein kleines Spiegelchen, z. B. ein einerseits verquicktes Deckgläschen (wie die für mikroskopische Präparate benutzten) und lenkt entweder durch einen Heliostat die Sonnenstrahlen oder die Lichtstrahlen einer elektrischen Lampe [2] durch eine Linse auf das Spiegelchen. Zum Auffangen des vom letzteren reflectirten Strahlenbündels wird ihm ein Papierschirm entgegengestellt, an dem man dann die Nadelablenkungen verfolgen kann.

---

1) Um vor den Sonnenstrahlen geschützt zu sein.

2) Die Batterie für diese Lampe muss möglichst weit von dem Multiplicator sich befinden.

Um die aus ihrer Gleichgewichtslage herausgebrachte Nadel schnell zu beruhigen, pflegte du Bois-Reymond früher zu einem Beruhigungsstäbchen seine Zuflucht zu nehmen, das aus einem schwachen Magnet bestand. Auch während der grössten Schwingungen liess sich mit Hilfe eines solchen Magnetes die Magnetnadel auf den Nullpunkt bringen. Jetzt braucht er zu demselben Zwecke einen anderen Kunstgriff; er schliesst den Multiplicator durch einen kurzen metallischen Bügel, der einen Widerstand von verschwindender Grösse bietet; dabei üben die Windungen des Multiplicators eine Dämpfung auf die Nadel aus, durch welche dieselbe eben so schnell, wie beim Gebrauch eines Beruhigungsmagnetes, zur Ruhe kommt.

Schon oben bei der Beschreibung der Aufwindungsweise der Drähte wurde die Endigungsweise des Drahtes in den vier Klemmschrauben beschrieben.

Schliesst man den Kreis des Multiplicators zwischen den Enden *A* und *E*, so durchläuft der Strom nur die eine Hälfte der Windungen; bei der Verbindung von *E* mit *a* durch einen Draht und Schliessung des Kreises zwischen *A* und *e* durchzieht der Strom die beiden Windungshälften nach einander. Wird *A* mit *a* und *E* mit *e* zu je einem Drathe vereinigt und schliesst man den Kreis durch diese beiden Drähte, so geht der Strom durch die beiden Windungen zugleich — der durchflossene Draht hat also jetzt einen doppelten Querschnitt, also einen um die Hälfte verminderten Widerstand.

Um die verschiedenen Combinationen der Drähte bei dem Gebrauch des Multiplicators mit Leichtigkeit herstellen zu können, giebt Sauerwald[1]) dem Multiplicator einen Stromwender bei, der folgende Combinationen gestattet: 1) die Kette mit Ausschluss des Multiplicators in sich zu schliessen, 2) den Strom durch die eine Hälfte der Windungen, 3) durch beide nach einander und 4) neben einander hindurchzulassen, 5) eine Nebenschliessrolle aus Neusilberdraht zum Multiplicator, um ihm bei ganzer Länge seines Drahtes die für den Muskelstrom passendere geringere Empfindlichkeit zu geben, und 6) bei jeder dieser Combinationen die Richtung des Stromes umzukehren. Die Nebenschliessrolle (5. Combination) kann auch dazu benutzt werden, um den Multiplicator zu schliessen, zum Zwecke die dämpfende Wirkung der Drahtwindungen auf das astatische System hervorzurufen. Die Beruhigung der Nadeln geschieht dabei fast eben so schnell, wie bei der Anwendung eines kurzen metallischen Bügels.

Der Multiplicator wird in der letzten Zeit fast ausschliesslich zur Erkennung und Richtungsbestimmung von schwachen Strömen, höchstens noch zur relativen Schätzung der Intensität von Strömen verwendet, für Messungen werden auch in der Physiologie jetzt fast nur die im nächsten Paragraphen beschriebenen Spiegelbussolen verwendet.

Einiges Nähere über die Einschaltungsweise des Multiplicators speciell bei elektrophysiologischen Versuchen wird in den nächsten Paragraphen noch weiter besprochen werden.

Hier soll noch ein Galvanometer beschrieben werden, das dank seiner besonderen Einrichtung sich vorzüglich dazu eignet, 1) nach der von du Bois-Rey-

1) Sein Nachfolger O. Plath.

mond modificirten Poggendorff'schen Methode (s. § VI) elektromotorische Kräfte, 2) nach der Wheatstone'schen Methode die Grösse von Widerständen und 3) die Intensität von Strömen als eine einfache Sinusbussole zu messen. Dieses von W. Siemens construirte Universalgalvanometer ist auf Taf. XLVI Fig. 1. und 2 abgebildet. Eine polirte Holzplatte *B* ruht auf drei Stellschrauben *a*, *a* und besitzt in ihrer Mitte ein Metalllager, in welches ein gut eingeschliffener verticaler Zapfen *c*, *c* (Fig. 1) genau hineinpasst. Mittelst einer am oberen Ende des Zapfens angebrachten kreisrunden Holzscheibe *C* trägt dieser Zapfen das ganze eigentliche Instrument in dem Metalllager, in genauer horizontaler Richtung drehbar. Die Holzplatte *C* besitzt einen Fortsatz *d*, an dem vier mit Klemmschrauben versehene Metallplatten I, II, III und IV (Fig. 2) angebracht sind. Die Platten II und IV sind durch einen Stöpsel vereinbar. In dem Umfange der Scheibe *C* ist ausserdem eine Nuth zur Aufnahme der Widerstandsdrähte eingedreht.

Eine Schieferplatte ruht auf der Holzplatte *C*; in deren Mitte ist das Galvanometer *F* aufgestellt; an deren Seite benutzt sie einen Ausschnitt zum Durchlassen des Fortsatzes *d*.

Längs dieses Ausschnittes trägt die Schieferplatte vier Metallschienen (Fig. 2) b_1 b_2 b_3 b_4, welche durch Stöpsel mit einander verbunden werden können. Diese Schienen nehmen die Enden der Widerstandsdrähte in sich auf.

Diese in der Nuth der Holzplatte *C* eingelassenen Drähte besitzen Widerstände von 1, 10 und 100 Siemens'schen Einheiten.[1])

Der eine Draht W_1 geht von b_1 bis b_2, der zweite W_{10} bis b_3, der dritte W_{100} von b_3 bis b_4.

Die Schiene b_4 ist ausserdem mit der Metallplatte II verbunden; b_1 und die Metallplatte IV nehmen die Enden des Galvanometers in sich auf.

F ist ein gewöhnliches Galvanometer mit einem an einem Coconfaden hängendem astatischen Nadelsystem, das durch einen kleinen Magneten compensirt werden kann, der an dem Knopfe *M* befestigt ist. Da bei dem Gebrauche dieses Instruments die Nadel immer auf den Nullpunkt zurückgebracht wird, so besitzt die Theilung 20° rechts und links von demselben Hemmungen aus Elfenbeinknöpfen.

Der Brückendraht, welcher bei der Messung von Widerständen nach der Wheatstone'schen Methode erforderlich ist, wird in eine Nuth an der Peripherie der Schieferplatte eingelassen. Seine Enden sind mit den auf dieser Platte ruhenden Messingplättchen *l* und l_1 verbunden, welche ihrerseits durch Kupferdrähte *l* mit h_1 und l_1 mit der Platte III in leitender Verbindung stehen. Die Schieferplatte ist von der Mitte des Drahts an nach beiden Seiten hin zu *m* und m_1 in 150 Grade getheilt.

Ein von den übrigen Theilen isolirter, unterhalb der Holzscheibe *C* an dem Zapfen *c* angebrachter Arm *A* ist um denselben leicht drehbar. Hinter dem Griff *f* dieses Arms ist in verticaler Stellung ein Messingstück *i* befestigt, das zwischen den Schraubenspitzen *u* drehbar ist und oben in einem Ausschnitt eine Platinwalze

[1]) Man kann selbstverständlich auch beliebige andere Zahlen wählen.

n trägt. Die Lager für die verticale Axe dieser Walze sind in dem Messingstück *i* enthalten. Eine auf der Zeichnung sichtbare Feder drückt dieses Messingstück an die Schieferplatte an und sichert so den Contact der Platinwalze mit dem eben beschriebenen Brückendraht; *i* besitzt ausserdem einen Zeiger *x* der auf die Theilung der Schieferplatte zeigt.

Diese ganze Vorrichtung dient um einen verschiebbaren Contact auf dem Brückendraht herzustellen.

Die Walze *n* steht durch den Arm *A* in leitender Verbindung mit der Messingplatte I.

Die auf derselben Tafel befindlichen Schemata veranschaulichen die Gebrauchsweise dieses Instruments.

Soll das Galvanometer zur Messung von Widerständen benutzt werden, so wird folgendermassen verfahren. Die Nadel *l* des Galvanometers wird auf den Nullpunkt der inneren Scala (Fig. 2) mittelst des Griffes *f*, der Zeiger *x* auf den Nullpunkt der Scala an der Schieferplatte gestellt. Die Messingplatten III und IV werden durch Stöpsel verbunden. Je nach der Grösse des zu bestimmenden Widerstands wird eines der Löcher bei b_1 bis b_4 geöffnet. (Man wählt einen dem zu bestimmenden möglichst gleichen Widerstand.) Der zu messende Widerstand W_m wird zwischen den Klemmen II und IV, die Pole der Kette *k z* zwischen I und II geklemmt. Zum leichteren Verständniss dienen die Schemata 3 und 3*a*.

Nehmen wir an, die Nadel *i* werde dabei nach rechts abgelenkt. Dann wird der Zeiger *x* auch nach rechts auf die *B*-Seite der Scala gedreht; wird die Ablenkung der Nadel dabei noch vergrössert, so wird der Zeiger über den Nullpunkt seiner Scala nach links bewegt, bis die Nadel zum Nullpunkt der inneren Scala gelangt ist. Ist diese Ruhelage der Nadel bei der Stellung des Zeigers auf die Zahl *a* der *A*-Seite der Scala eingetreten, so ist W_m aus folgender Gleichung leicht zu finden:

$$W_n : W_m = 150 - a : 150 + a.$$

W_n bedeutet den zum Vergleich eingeschalteten Widerstand. Bei der Messung kleiner Widerstände genügt ein Element; bei grösseren wählt man bis zu 10 Elementen.

Zur Erläuterung der Gebrauchsweise des Instruments zur Messung der elektromotorischen Kraft dient das Schema 4 und 4*a*.

Vor Beginn der Messung wird die Nadel *l* und der Zeiger *x* auf die entsprechenden Nullpunkte eingestellt. Zwischen III und IV wird der Stöpsel entfernt, dagegen werden die Löcher b_1 b_2 b_3 und b_4 durch Stöpsel vereinigt.

Eine Säule E_0 wird mit den Klemmen II und III, E_1 deren elektromotorische Kraft gemessen werden soll, mit I und IV verbunden. Die Verbindung muss so gemacht werden, dass I und III einerseits, II und IV andererseits die gleichnamigen Pole verbinden.

Nachdem die Ablenkung der Nadel beobachtet wurde, wird der Zeiger nach rechts oder links gewendet, bis die Nadel wieder zur Ruhelage zurückkehrt.

Der dafür nothwendige Stand des Zeigers, z. B. $\pm a_1$, wird bestimmt. Sodann wird statt E_1 eine Normalkette von bekannter elektromotorischer Kraft E_2 eingeschaltet und dieselbe Messung wiederholt. Jetzt z. B. ist die Stellung des Zeigers auf $\pm a_2$ erforderlich, um die Nadel wieder auf den Nullpunkt zurückzu-

führen. Die elektromotorische Kraft von E_1 wird dann aus der Gleichung

$$E_2 : E_1 = 150 \pm a_2 : 150 \pm a_1$$

berechnet.

Soll endlich das Universalgalvanometer als einfache Sinusbussole zur Bestimmung der Stromesintensität dienen, so wird sie auf die aus dem Schema 5 und 5*a* verständliche Weise verwendet.

Die Stöpsel b_1 b_2 b_3 und b_4 werden eingesteckt, der zwischen III und IV entfernt und die Nadel (*l*) und Zeiger (*x*) auf die Nullpunkte eingestellt.

Die Leitungsdrähte der Kette E_1 sowie des Stromkreises *L* werden in II und IV eingeklemmt.[1]) Schlägt die Nadel *i* aus, so wird das Galvanometer so lange in der Richtung des Ausschlags gedreht, bis die Nadel wieder auf den Nullpunkt zu stehen kommt.

Man liest jetzt an der grossen Scala ab, wie weit sie sich an dem stillstehenden Zeiger *x* verschoben hat. Ist diese Zahl gleich γ, so ist die Intensität des Stromes

$$I = Const. \sin \gamma$$

Am Schlusse sei noch hinzugefügt, dass die entsprechenden Messungen mit dem im vorigen Paragraphen beschriebenen Siemens'schen Universalrheostat grössere Genauigkeit zulassen, als die mit diesem Universalgalvanometer.

§ V. Einrichtung und Handhabung der Spiegelbussolen.

Die Spiegelbussolen, zuerst von Meissner und Meyerstein in die Physiologie zum allgemeineren Gebrauch eingeführt, finden in der neueste Zeit in Gestalt der Wiedemann'schen Bussole die weiteste Verwendung. Bei zu elektrophysiologischen Zwecken vorgenommenen Messungen ist es jetzt das bevorzugteste Instrument

Die von du Bois-Reymond nachgewiesene Möglichkeit, die Schwingungen der Magnetnadel aperiodisch zu machen, hat die Handhabung dieses Instruments in hohem Grade vereinfacht und erleichtert.

Die Anwendung der Spiegelablesungen bei Tangentenbussolen ist zuerst von Poggendorff und Gauss angegeben worden. Die Spiegelablesung hatte zum Zweck, das Tangentengesetz[2]) bei den Tangentenbussolen auch unabhängig von

1) Auf der Zeichnung ist der eine Pol des Elements in die Klemme II, der andere in die Erde geleitet und die Leitung *L* in IV eingeklemmt. Der Apparat ist ursprünglich für Telegraphenzwecke eingerichtet worden.

2) In den Tangentenbussolen verhalten sich die Drehungsmomente, welche der Erdmagnetismus und der die Dräthe durchfliessende Strom auf die Magnetnadel ausüben, wie der Cosinus zum Sinus ihres Ablenkungswinkels; die Stromintensität ist also der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Dieses Tangentengesetz ist aber nur richtig, wenn die Länge der Nadel verschwindend klein gegen den Durchmesser des Drahtringes ist. Treten die Pole der Nadel aus der Ebene des Drathringes bedeutend heraus, so wird die Einwirkung des Stromes schwächer und sein auf die Nadel ausgeübtes Drehungsmoment ist nicht mehr dem Cosinus ihrer Neigung gegen die Ringebene proportional, sondern kleiner. Es sind verschiedene Methoden vorgeschlagen worden, um das Tangentengesetz von dem Verhältniss der Nadellänge zum Durchmesser des Drathringes unabhängig zu machen, so z. B. haben Helmholtz und Gaugain zu diesem Zwecke der Bussole die bekannte Einrichtung gegeben, dass die Nadel nicht mit dem Mittelpunkte des sie umgebenden Drahtringes zusammenfällt, sondern ihn in einer gegen die Ebene desselben senkrechten Richtung schneidet.

dem Verhältniss der Länge der Nadel zum Durchmesser des Drahtkreises, in welchem sie schwingt, geltend zu machen.

Dies sollte erreicht werden dadurch, dass man sie nur äusserst kleine Ablenkungen machen lässt und mittelst feiner Hilfsmittel, namentlich durch Beobachtung mit dem Fernrohr, die Ablenkung eines mit dem Magnet verbundenen Spiegelchens misst.

Die jetzt in der Physiologie gebräuchlichen Spiegelbussolen sind der zuerst von W. Weber bei seinen berühmten elektrodynamischen Messungen benutzten nachgebildet.

Wenn dieselben in der Physiologie sich so spät Eingang verschafft haben, so lag dies hauptsächlich daran, dass, wegen der früher bestandenen Unmöglichkeit, die thierischen Theile durch unpolarisarbare Elektroden mit den Bussolen zu verbinden, messende Bestimmungen ihrer elektromotorischen Kräfte doch nur illusorisch waren.

Sogleich nach der Entdeckung der unpolarisirbaren Elektroden durch Jules Regnauld hat du Bois-Reymond die grosse Bedeutung der Spiegelbussolen für die elektrophysiologischen Versuche erkannt. „Aber durch den Fortfall der Polarisation in irgend in Betracht kommendem Maasse", sagte du Bois-Reymond im Jahre 1859, „wird jetzt zugleich eine Menge von Versuchen möglich gemacht, auf deren Ausführung man früher zu verzichten hatte, und eine Menge anderer nimmt eine einfachere Gestalt an, in der sich der den thierischen Erregern zukommende Antheil an der Erscheinung klarer ausspricht als bisher ..... Mit den absolut gleichartigen, unpolarisirbaren verquickten Zinkelektroden zur Ableitung, mit dem Princip der Nebenleitung zur Erzeugung aufs Feinste abgestufter electromotorischer Kräfte jeder Ordnung, endlich mit der Spiegelbussole, die bei gleicher Empfindlichkeit mit dem Nervenmultiplicator keiner schwierigen und vergänglichen Graduirung mehr bedarf: steht jetzt nichts mehr in diesem Gebiete der Ausführung messender Versuche entgegen und eine neue Bahn wichtiger Untersuchungen ist eröffnet."

Seit dem Jahre 1859 benutzte auch du Bois-Reymond sehr häufig bei seinen elektrophysiologischen Versuchen die Wiedemann'sche Bussole mit 12000 Windungen, der er sich damals bei der Untersuchung über unpolarisirbare Elektroden bediente.

Allgemeinerer Verbreitung unter den Physiologen hat sich die Spiegelbussole aber erst zu erfreuen, seitdem Meissner und Meyerstein ihr auf Taf. XLIV Fig. 1, 2 und 3 abgebildetes Instrument construirt und beschrieben haben. Seitdem ist auch die Wiedemann'sche Bussole bei den Physiologen zu Ehren gekommen. Dank einigen Vorzügen, die sie vor der Meissner-Meyerstein'schen voraus hat, namentlich der viel kleineren Beruhigungszeit ihres Magnetspiegels, hat sie sogar jener den Rang abgelaufen.

Wir wollen zuerst diese, den Jahren nach auch ältere, Wiedemann'sche Bussole (Fig. 3 und 4 Taf. XLV) beschreiben.

Auf dem von drei Stellschrauben getragenen Brett *k* ist auf einem Zapfen aus Rothguss ein zweites Brett drehbar, dessen obere Fläche durch zwei Leisten zu einer Schlittenvorrichtung hergerichtet ist.

Auf diesem Schlitten sind mehrere Schieber beweglich; der mittelste von ihnen trägt eine Kupferhülse *u* von 17 Mm. Wanddicke und 21 Mm. Länge, die in der Mitte ein Loch von 21 Mm. Durchmesser umschliesst. In der Mitte ist diese Hülse senkrecht zu ihrer Axe in zwei Hälften getheilt. Nur die hintere Hälfte ist auf dem Schieber befestigt; die vordere wird durch zwei Messingschrauben an sie geschraubt.

Ein Messinggerüst, das diese Kupferhülse übergreift, ist auch an demselben Schieber befestigt. In dem Querbalken dieses Gerüstes ist gerade über der Hülse ein 5 Mm. breiter und 20 Mm. langer Schlitz parallel zur vorderen Seite der Kupferhülse ausgeschnitten. Dieser Balken trägt auf einem Messingbügel einen Messingring, in den man eine Fassung aus Messing einschrauben kann. Diese Fassung trägt eine 12 Ctm. lange Glasröhre (Fig. 4), auf welcher wieder eine Messingfassung eingekittet ist, in die eine Röhre eingeschliffen ist, welche sich in der Fassung drehen kann. Eine Marke an der Röhre sowie Theilstriche an der sie tragenden Fassung gestatten solche Drehungen um 45°, 90° u. s. w. Diese Röhre trägt eine Vorrichtung zur Senkung und Hebung eines für den Coconfaden bestimmten Hakens, die ganz in der derselben Weise wie die im vorigen Paragraphen bei dem Multiplicator beschriebene, gebaut ist. Der Coconfaden hat unten einen zweiten Haken, von hartem Messingdraht, an dem man einen kleinen Spiegel von glashartem Stahl aufhängt. Der Spiegel von $^3/_4$ bis 1 Mm. Dicke und 19 Mm. Durchmesser ist so magnetisirt, dass eine magnetisirte Axe horizontal hängt.

Um diesen Spiegel zu magnetisiren, bringt man ihn in eine kreisförmige Höhlung eines kleinen Brettchens und legt ihn in horizontaler Richtung zwischen die zugespitzten Pole eines starken Elektromagnetes; der diesen letzteren umkreisende Strom wird zu wiederholten Malen geöffnet und geschlossen, wobei man den Spiegel durch schwache Stösse gegen den Magnet leicht erschüttert.

Um das Trägheitsmoment des Magnetes zu verringern, verwendet man in den neueren Wiedemann'schen Bussolen statt der Stahlspiegel einen Stahlring von 1 Mm. Dicke und Breite und 19 Mm. Durchmesser, der auch in horizotaler Richtung magnetisirt ist. Durch ein leichtes Stäbchen aus Aluminium ist der Ring mit einem leichten dünnen Glasspiegel verbunden, der in Horn oder Aluminium eingefasst ist.

Das Einhängen des Magnets geschieht mit Leichtigkeit, wenn man die vordere Hälfte der Kupferhülse *u* von der hinteren abschraubt.

Durch Drehung der Schraube *a* wird der Magnet in eine frei schwebende Lage gebracht. Die beiden Oeffnungen an der Kupferhülse werden durch in kupferne Rahmen eingefasste Deckel aus ebenen Glasplatten geschlossen.

Eine runde Holzbüchse *h* wird auf dem Querbalken des Gerüstes aufgestellt; an einer Seite besitzt diese Büchse eine durch eine Glasplatte verschliessbare Oeffnung.

Da der Magnet in einer bestimmten Richtung (s. u.) gehängt werden muss, nicht in allen Räumlichkeiten aber die dazu erforderliche Fernrohreinstellung möglich ist, so kann man das Glasspiegelchen um jeden beliebigen Winkel gegen den Magnetring drehen und so das Spiegelbild der Scala von allen Seiten be-

obachten. Selbstverständlich muss auch die Holzbüchse *h* dem entsprechend gedreht werden.

Die anderen Schieber auf dem Schlitten tragen die Drahtspiralen *c*, *l*, deren Axen mit der der Kupferhülse zusammenfallen. Der innere Durchmesser dieser Spiralen ist so gewählt, dass sie auf die Kupferhülse *u* hinaufgeschoben werden können, bis zu einer Annäherung von 1—2 Mm.

An den Enden der Drähte sind Klemmschrauben angebracht, die man wie beim Multiplicator durch Drähte mit anderen Klemmen verbindet, welche auf der Console fixirt sind.

Für physiologische Zwecke muss man zwei Paare solcher Spiralen besitzen. Ein Paar besteht aus je zwei nebeneinander zu 80 Windungen gewundenen mit Seide übersponnenen Kupferdräthen von 1 Mm. Dicke. Die vier Enden jeder solchen Spirale sind mit vier Klemmen versehen. Diese Spiralen dienen für thermoelektrische Versuche.

Zur Beobachtung der Nerven- und Muskelströme bedient man sich eines anderen Paares, wo die Spiralen 12000 und noch mehr Windungen eines sehr feinen $^1/_5$ Mm. dicken Drathes besitzen.

Die grosse für elektrophysiologische Zwecke nothwendige Empfindlichkeit erhält die Spiegelbussole erst durch Anwendung eines feststehenden magnetischen Stabes, der die Richtkraft des Erdmagnetismus vermindert.

Hauy[1]) war der Erste, welcher einen festen Magnet zur Astasirung eines beweglichen angewendet hat; der dazu verwendete Magnetstab wird daher kurzweg der Hauy'sche Stab genannt.

Ein schwach magnetischer Stahlstab wird zu solchen Zwecken in gleicher Horizontalebene mit der Axe des schwingenden Magnetes oberhalb oder unterhalb desselben in der Weise befestigt, dass die Axen beider Magnete zusammenfallen und der Nordpol des astasirenden Magnetstabes dem Nordpol des aufgehängten Magnetes gegenübersteht.

Sowohl in der Wiedemann'schen Bussole als in der neuen Einrichtung der Meissner'schen Bussole ist dieser Hauy'sche Stab in folgender Weise angebracht. An die untere Fläche des Holzbretts *k* (Fig. 3) ist ein verticaler, mit Theilungen versehener Stab befestigt, an dem sich ein in der Nordsüdrichtung liegendes Kästchen mittelst einer Hülse verschiebt. In diesem Kästchen liegt der Magnetstab zwischen zwei Federn; durch seitliche Schräubchen wird er so lange gedreht, bis er keine seitlichen Ablenkungen des schwingenden Magnetringes verursacht.

Eine sehr sinnreiche Einrichtung, welche Meissner und Meyerstein an ihrem Galvanometer getroffen haben, ist auch an der auf Taf. XLV abgebildeten Wiedemann'schen Bussole benutzt worden. Sie zerlegten den Hauy'schen Stab in zwei Theile, einen stärkern, der unverrückt in grösserer Entfernung bleibt, und einen schwächeren verschiebbaren Stab, durch den man die feine Astasirung vornimmt. Wie die Fig 3 zeigt, ist dieser verschiebbare Stab bei der Wiede-

1) Die Geschichte dieser Hauy'schen Einrichtung s. du Bois-Reymond's „Vorrichtungen etc." S. 88.

mann'schen Bussole noch um eine verticale Axe drehbar gemacht. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, durch seine geeignete Einstellung noch die etwaigen seitlichen Ablenkungen des schwingenden Magnetringes zu compensiren.

Die geeignetste Art der Anbringung des Hauy'schen Stabes ist erst in jüngster Zeit von du Bois-Reymond einer ausführlichen Erörterung unterzogen worden.

Der Meissner-Meyerstein'schen Zerlegung des astasirenden Magnetes in zwei Theile, um die feine Verstellbarkeit des stärkeren Stabes im Azimuth unnöthig zu machen, zieht jetzt du Bois-Reymond eine andere Einrichtung vor; er lässt zu demselben Zwecke einen kräftigen Magnetstab von grosser Ferne auf den schwingenden Magnet einwirken. Die Befestigung des Hauy'schen Stabes an der Bussole selbst hat du Bois-Reymond ganz aufgegeben und zwar deshalb, weil es dabei unmöglich ist, an diesem Stabe eine Einrichtung anzubringen, die es gestatten würde, von der Stellung aus, die der Beobachter am Fernrohr einnimmt, die feinere Einstellung dieses Stabes vorzunehmen. Das fortwährende Hin- und Hergehen zwischen Bussole und Fernrohr ist zeitraubend und auch sonst unbequem. Er befestigt daher den Stab an der Console, und zwar in einer Weise, dass seine Verschiebungen nicht die geringste Erschütterung der Bussole selbst herbeiführen können.

Was die Lage, welche man dabei dem Stabe zu geben hat, anbetrifft, so stellt du Bois-Reymond darüber folgende Betrachtung an: „Jede für den Hauy'schen Stab passende Lage muss dreierlei leisten: der Stab muss die Richtkraft des Magnetes um den nöthigen Betrag vermindern, dabei aber die mittlere Declination und, wenigstens bei kleinen Ablenkungen, das Gesetz, wonach die Richtkraft mit der Ablenkung wächst, unverändert lassen. Alle diese Lagen kommen darin überein, dass der Stab im magnetischen Meridiane sich befindet; übrigens zerfallen sie in zwei Systeme, und zwar haben diese die beiden Lagen über und unter dem Magnet, in denen bisher der Stab sich befand, mit einander gemein."

„Man denke sich Stab und Magnet im magnetischen Meridian, ihre magnetischen Axen horizontal, ihre Mittelpunkte in passendem Abstand in Einer Senkrechten, den Stab über oder unter dem Magnet. Das erste System von Lagen entsteht, indem der Stab, sich parallel, um den Magnet geführt wird, sodass sein Mittelpunkt um den des Magnetes einen auf der Declinationsebene senkrechten Kreis beschreibt. Man sieht leicht, dass das vom Stab auf den Magnet wirkende horizontale Kräftepaar in dem Puncte des Kreises dasselbe bleibt. Befinden sich Stab und Magnet in Horizontalebene, so wird der Magnet, durch Abstossung des Stabes, etwas vom Loth abgelenkt; wie er, bei senkrecht über oder unter dem Magnet befindlichen Stabe, gleichsam bezüglich etwas schwerer oder leichter wird. In den Zwischenlagen verbinden sich beide Wirkungen in wechselndem Verhältniss. Die Erfahrung lehrt aber, dass innerhalb der für uns geltenden Grenzen der Genauigkeit überhaupt nichts darauf ankommt."

„Es giebt somit für uns keinen Grund, den Stab gerade über oder unter dem Magnet anzubringen, und die daraus erwachsenden Schwierigkeiten lagen in einer zufälligen und willkürlichen Lösung der Aufgabe, nicht in dieser selber. Jede Stellung des Stabes, welche einem Punkte des bezeichneten Kreises entspricht, leistet für unseren Zweck dasselbe. Es ist nicht einmal nöthig, dass die Ver-

schiebung des Mittelpunktes des Stabes im Radius jenes Kreises geschehe. Man kann z. B., ohne irgend einen namhaften Vortheil aufzugeben, die den Stab tragende Leiste auf der Fläche der Console horizontal so befestigen, dass der Mittelpunkt des Stabes in einer durch den Aufhängefaden gehenden Aequatorialebene liegt. Dies erreicht man, indem man bei noch nicht fest angezogenen Schrauben die Leiste parallel verschiebt, bis im Fernrohr Nullstrich und Faden sich decken, wie ohne Stab. Freilich misst nun die Theilung auf der Leiste nicht mehr unmittelbar den Abstand des Stabes vom Magnete, sie dient aber ohnehin mehr dazu, den Stab um bestimmte Grössen verschieben und ihm dieselbe Entfernung wiedergeben zu können. Anstatt den Mittelpunkt des sich parallelen Stabes einen Kreis in der Aequatorialebene beschreiben zu lassen, kann man auch dem Stab in der Declinationsebene, nördlich oder südlich vom Magnet, darüber oder darunter oder in gleicher Höhe, mit horizontaler oder geneigter Axe jede Stellung geben, bei welcher er auf den Magnet umgekehrt wie die Erde wirkt. So entsteht das zweite, viel mannigfaltigere System für den Stab zulässiger Lagen. Bis das Elektro-Galvanometer mich verleitete, den Mittelpunkt des Stabes in Eine Senkrechte mit dem des Magnetes zu bringen, arbeitete ich mit einem so aufgestellten Stabe, und neuerlich hat Hr. Victor von Lang bei dem von ihm gebauten „Spiegelgalvanometer mit regulirbarer Dämpfung" diese Anordnung vorgezogen. Einen entscheidenden Grund für Aufstellung des Stabes mit seinem Mittelpunkt in der Declinations- oder der Aequatorialebene giebt es nicht, und man wird sich bei der Wahl zwischen beiden Ebenen durch Rücksichten der Bequemlichkeit leiten lassen, wie die Oertlichkeit sie vorschreibt. Aber auch bei der Wahl der Declinationsebene empfiehlt es sich, den Stab von der Bussole getrennt am Consol zu befestigen, natürlich so, dass jetzt der Stab der Leiste parallel liegt."

Die Einrichtung, durch welche der Beobachter, ohne seinen Sitz beim Fernrohr zu verlassen, den Stab im Azimuth drehen kann, ist auf Taf. XLVIII Fig. 1 verdeutlicht.

Der Stab *N S* von quadratischem Querschnitt (250 Mm. Länge und 12,5 Mm. Seite) ist derart befestigt, dass sein Ende *S* mittelst der Schraube *b* festgeklemmt ist, während *N* zwischen einer Mikrometerschraube und einem ihr entgegenwirkenden federnden Knopfe ruht. Der Kopf der Mikrometerschraube wird von der Schnurscheibe IV verstellt; bei gelöster Schraube *b* kann der Stab innerhalb gewisser Grenzen hin- und hergeschoben werden.

Eine kräftige Messingschiene wird mittelst einer Zwinge aus Rothguss mit zwei Schrauben an der Console befestigt, von der sie in aequatorialer Richtung wagerecht vorspringt. Die obere Fläche der Schiene ist mit Theilungen versehen. An dieser Schiene verschiebt sich das Lager des Magnetstabes mit einer Hülse, die einen Nonius für die besagte Theilung besitzt. Die an dieser Hülse befestigte Schnurscheibe II wird durch die Scheibe I in Bewegung gesetzt, die in des Beobachters Reichweite mittelst einer Zwinge befestigt ist.

Unterhalb der Scheibe II befindet sich eine zweite kleinere, um dieselbe Axe drehbare Scheibe III, welche mittelst Schnüre mit der Scheibe IV verbunden ist. Der eine Schenkel dieses Schnurlaufs liegt in einer gemeinschaftlichen dem Stabe parallelen Tangente an beiden Scheiben.

Der andere Schenkel läuft über eine Rolle *r*, deren unter 45° gegen den

Horizont geneigte Axe in einer senkrechten Ebene liegt, welche mit der Ebene der Scheibe IV einen Winkel von 45^0 bildet.

Ist die Schraube e gelöst, so kann man den Träger der Scheiben II und III um eine senkrechte Axe bei d drehen und so die über III und IV gehende Schnur spannen.

Die Schnurscheiben sind aus Kammmasse gearbeitet; der Durchmesser der Scheibe I zu dem von II verhält sich wie 1 zu 2, der von III zu dem von IV wie 6:7.

Die Scheibe I besitzt eine grössere geränderte Scheibe von 54 Mm. Durchmesser; wird letztere um ein Stück ihres Umfangs von 1 Mm. entsprechend einem Winkel von etwa 2^0 gedreht, so wird die Mikrometerschraube etwas über 0,00125 Mm. verschoben, was einer Winkelbewegung des Stabes um die Axe aS von etwas über $1''$ entspricht.

Mit Hilfe eines kräftigen Magnetstabes von den beschriebenen Dimensionen wird die aperiodische Schwingungweise des Magnetes ohne Schwierigkeit erreicht.

Es ist schon früher von mehreren Physikern, Mohr, Schilling, von Canstadt und Lenz, Draper, Neumann u. A. versucht worden, durch verschiedene Mittel (wie Anbringung von Flügeln von Platin oder Stanniol, oder von einer Korkscheibe an die verlängerte Axe des Magnetes, welche in Oel oder Wasser einen Widerstand bei ihren Bewegungen erlitten) die Schwingungen der Magnete zu hemmen. Die grosse Anzahl der schnell aufeinander folgenden Schwingungen des Magnetes erzeugen nämlich ein mehrmaliges Umherschiessen des Scalenbildes im Gesichtsfeld, das für die Beobachtung sehr verwirrend wirkt.

Es ist aber erst in neuerer Zeit du Bois-Reymond gelungen, diesem Uebelstande bei mit Dämpfung schwingenden Magneten auf eine sehr einfache und vollkommene Weise abzuhelfen. Von einer Fundamentalgleichung [1]) aus-

1) Bedeutet x die Ablenkung der Nadel zur Zeit t, p den Scalentheil, auf den sie in ihrer Ruhelage einspielt, n^2 die magnetische Richtkraft für die Ablenkung gleich 1, 2ε die verzögernde Kraft der Dämpfung für die Geschwindigkeit gleich 1, beide dividirt durch das Trägheitsmoment, so lautet diese Gleichung

$$\frac{d^2x}{dt^2} + n^2 (x - p) + 2\,\varepsilon \frac{dx}{dt} = 0 \ldots . 1.$$

Setzt man zur Abkürzung

$$\sqrt{\varepsilon^2 - n^2} = r,$$

so ist das Integral dieser Differentialgleichung (1)

$$x = e^{-\varepsilon t}\left(Ae^{-rt} + Be^{rt}\right) \ldots\ldots\ldots 2.$$

A und B sind die durch die Integration eingeführten willkührlichen Constanten; e ist die Basis der natürlichen Logarithmen.

Zur Bestimmung der Constanten A und B werden die Ausschläge von der Ruhelage aus gezählt, also $p = 0$ gesetzt. Die Ablenkung der Nadel durch die Einwirkung irgend einer Kraft, z. B. eines constanten Stromes $x = \xi$ sei noch klein genug, damit die Proportionalität zwischen Ablenkung und Richtkraft noch bestehen bleibt. Zu der Zeit $t = 0$ wird der Strom unterbrochen und die Nadel kehrt in ihre Gleichgewichtslage zurück; dann ist für $t = 0$ auch

$$\frac{d\xi}{dt} = 0, \text{ also } A = -\frac{\xi(\varepsilon - r)}{2r}, \; B = +\frac{\xi(\varepsilon + r)}{2r},$$

daher wird die Gleichung (2)

$$x = \frac{\xi}{2r} \cdot e^{-\varepsilon t}\left\{(\varepsilon + r)\, e^{rt} - (\varepsilon - r)\, e^{-rt}\right\} \ldots\ldots\ldots 3.$$

gehend, welche Gauss für die Bewegung eines schwingenden Magnetes in dämpfender Umgebung gegeben hat, hat du Bois-Reymond theoretisch die Bedingungen abgeleitet, unter denen ein schwingungsloser oder aperiodischer Zustand gedämpfter Magnete erreicht werden kann.

In richtiger Würdigung der Vortheile, welche eine praktische Verwirklichung dieser Bedingungen bei galvanischen Versuchen bieten wird, hat er darauf auch experimentell die bequemste Weise festgestellt, in der dies geschehen kann.

Wie du Bois-Reymond durch seine analytische Ableitung gefunden, wird bei gleicher Dämpfung die Bewegung des Magnetes um so eher aperiodisch, je kleiner die horizontale Componente der Erdkraft oder das Trägheitsmoment des Magnetes wird. (Dadurch wird nämlich r um so eher reell oder gleich Null; um das abzuleiten braucht man nur in der Gleichung (s. Anmerkung) $r = \sqrt{\varepsilon^2 - n^2}$ statt der aus analytischen Gründen von Gauss angenommenen Symbole 2ε und n^2 ihre wirklichen Grössen zu setzen.)

Am leichtesten lässt sich die Wirkung der Erdkraft auf den Magnet schwächen, und zwar kann man dies durch jede der drei Astasirungsmethoden erzielen: durch Verbindung zweier Magnete zur Doppelnadel, durch die Aufstellung der Drehungsaxe des Magnetes in der Richtung der Declinationsebene oder endlich durch Annäherung eines der Erde entgegenwirkenden Magnetes (das Hauy'sche Verfahren). Die letztere Art ist die bei Spiegelbussolen am leichtesten anwendbare; ihr hat auch Du Bois-Reymond bei der Einrichtung der Wiedemann'schen Bussole zu elektrophysiologischen Versuchen den Vorzug gegeben. Eine Reihe experimenteller Prüfungen hat alsbald das Richtige dieser Wahl dargethan.

Die bequeme Weise, auf welche der Hauy'sche Stab zur Herstellung der verlangten Schwingungslosigkeit gehandhabt werden soll, ist schon beschrieben worden.

Achtet man darauf, dass der schwingende Magnet hinreichende permanente

---

Die Art der Bewegungen des Magnetes, welche durch die Gleichungen (2 und 3) dargestellt wird, ist verschieden je nach der Beschaffenheit der Wurzelgrösse r.

Gauss behandelte die Fälle, wo die Kraft der Dämpfung gleich Null ($\varepsilon = 0$) und wo sie sehr klein ist, also $\varepsilon < n$, wobei r imaginär wird. Du Bois entwickelte diese Gleichungen weiter für die Fälle, wo $\varepsilon > n$, also r reell, und wo $\varepsilon = n$, also $r = 0$ ist.

Je nach den Werthen, welche n und ε haben, nimmt das Integral obiger Fundamentalgleichung (1) verschiedene Formen an, über die in der betreffenden Abhandlung von du Bois das Weitere nachzusehen ist. In den Fällen eben, wo $\varepsilon =$ oder $> n$, ist die Bewegung der Magnetnadel aperiodisch. Die Schwingungsdauer (die Zeit, während welcher die Nadel von ihrer Ruhelage nach der einen Seite und von da in die Ruhelage zurückkommt) des gedämpften Magnetes ist nämlich nach Gauss

$$T_1 = \frac{\pi}{\sqrt{n^2 - \varepsilon^2}} \quad \ldots\ldots\ldots 4.$$

Für die Fälle, wo $\varepsilon =$ oder $> n$, wird also der Ausdruck für die Schwingungsdauer unendlich gross resp. imaginär.

Der Ausdruck für das logarithmische Decrement (die constante Differenz zweier aufeinander folgender Schwingungsbogen der gedämpften Magnetnadel in natürlichen Logarithmen angegeben) der Schwingungen des gedämpften Magnetes ist

$$\lambda = \varepsilon T_1 = \frac{\varepsilon \pi}{\sqrt{n^2 - \varepsilon^2}} \quad \ldots\ldots\ldots 5.$$

Für $\varepsilon = n$ ist λ unendlich gross; schon die zweite Amplitude verschwindet also im Vergleich zur ersten. Für $\varepsilon > n$ ist λ imaginär; also auch hier tritt Schwingungslosigkeit ein.

Intensität besitzt, so wird man diesen Zustand ohne Schwierigkeit herbeiführen können. Man überzeugt sich von der hinreichenden Intensität des Magnetes durch ein paar Ablenkungsversuche, wobei man das logarithmische Decrement des Magnetes bestimmt.

In der von Sauerwald gelieferten Bussole darf das logarithmische Decrement des dünnsten Magnetspiegels, von etwa 0,8 Mm. Dicke, nicht kleiner als 0,7, das des Magnetspiegels mit Glasspiegel nicht kleiner als 0,4 sein, wenn sonst der Durchmesser des Magnetes derart ist, dass er ihm eben in der Kupferhülse zu schwingen erlaubt. [1])

Die täglichen Variationen der Declination würden auf die Schwankungen der Gleichgewichtslage des Magnetes von keinem besonders zu beachtenden Einflusse sein, wenn nicht der befestigte in der ursprünglichen Declinationsebene verharrende Hauy'sche Stab durch Abstossung die Schwankungen des Magnetes noch vergrösserte.

Hensen [2]) machte zur Vermeidung dieser Störung den Vorschlag, den Hauy'schen Stab seinerseits auch in einem umschlossenen starken Dämpfer aufzuhängen, damit er so die Declinationsschwankungen mitmache. Die Aufhängeweise musste derart sein, dass trotz dieser Schwankungen der Stab immer in der Horizontalebene verbleibt.

Die übrigens sehr schwierige Ausführung dieses Vorschlags von Hensen würde zwar den zu bekämpfenden Fehler beseitigen können, gleichzeitig aber würde durch die unvermeidliche Torsion des starken Fadens oder Drahtes, der zur Aufhängung des schweren Hauy'schen Stabes erforderlich wäre, ein neuer Fehler eingeführt werden, der bei so hoher Astasie störend sein könnte.

---

1) Es ist unlängst W. Siemens gelungen, auf eine sinnreiche Art ohne Astasie einen aperiodisch schwingenden Magnet herzustellen. Die dem Magnet gegebene Form genügt vollkommen, um volle Schwingungslosigkeit zu erreichen. Der Magnet hat die Form eines in die Länge gezogenen Bügels, der in die cylindrische Höhlung einer Kupferkugel aufgehängt wird; die Axe dieser Höhlung fällt mit dem senkrechten Durchmesser der Kugel und der Drehaxe des darin centrisch (an einem von der Wölbung des Bügels abgehenden Stiele) aufgehängten Magnetes zusammen.

Die Pole des Magnetes stehen einander gegenüber in den Schenkeln des Bügels. Siemens nennt solche Magnete Glockenmagnete. Dieser Form verdanken die Magnete: 1) hohe Intensität der Magnetisirung; 2) verhältnissmässig geringes Trägheitsmoment; 3) grosse Annäherung der Pole an die dämpfende Kupferkugel; 4) Unabhängigkeit der Dämpfung von der Ablenkung. Diese Vortheile bedingen, dass bei diesem Magnet $\varepsilon > n$ ist. Da es vortheilhaft ist, den Magnet aperiodisch bei dem Zustande $\varepsilon = n$ zu machen, so muss man, um $\varepsilon = n$ zu erlangen, am Dämpfer ein Stück herausnehmen oder den Hauy'schen Stab in umgekehrter Richtung einhängen.

In einer sehr einfachen Weise macht William Thomson an seiner Spiegelbussole die Schwingungen des Magnetes aperiodisch. Er klebt ein Stück Uhrfeder an die Rückseite eines leichten Glasspiegels an. Dieser Spiegel wird in einer äusserst engen flachcylindrischen Kammer aufgehängt, in der er nur ganz geringe Ausschläge machen kann. Aperiodisch werden die Bewegungen vermöge der Enge der Kammer und ihrer eignen geringen Masse. Ihre Beruhigungszeit beträgt nur den Bruchtheil einer Secunde.

Die Ausschläge des Spiegels werden bei dieser Thomson'schen Bussole nicht mit dem Fernrohre beobachtet, sondern man macht sie, auf die im vorigen § von du Bois angegebene Weise, durch Zurückwerfen eines Lichtstrahls sichtbar.

2) In einem Schreiben an du Bois-Reymond.

Begnügt man sich mit dem geringsten Maasse der schwingunglosen Astasie (bei welcher $\varepsilon = n$ ist. S. obige Anm.), so kann man die Variationsschwankungen vernachlässigen. Bei höheren Graden von Astasie (bei $\varepsilon > n$) kann man sie durch Verchiebung der Scala oder Drehung des Hauy'schen Stabes im Azimuth, besonders bei Benutzung der beschriebenen du Bois-Reymond'schen Vorrichtung, leicht bekämpfen.

Die Bussole von Meissner und Meyerstein ist auf Taf. XLIV Fig. 1, 2 und 3 abgebildet, und zwar in einer von der ursprünglichen etwas veränderten Gestalt. Ihre Einrichtung wird verständlich, wenn man die wichtigsten Merkmale, welche sie von der Wiedemann'schen Bussole unterscheiden, hervorhebt.

Das Holzbrett *N N* (Fig. 3) wird auf drei mit Stellschrauben versehenen Füssen aufgestellt. (Besser wäre es, wie ursprünglich, das Brett direct auf den Stellschrauben ruhen zu lassen und, wenn man die Scala nebst dem Hauy'schen Stab unter dem schwingenden Magnet anzubringen wünschte, dies durch eine Oeffnung in der Console zu erreichen.)

Die dämpfende Kupferhülse, in welcher der Magnetring aufgehängt wird, ist durch keine Oeffnung für den Coconfaden des Magnetringes unterbrochen, sondern zur Aufhängung dieses letzteren wird ein besonders geformter Bügel *a, i, l, u* (Fig. 2) gebraucht.

Der Magnetring *N S* wird an dem unteren Arm *a* aufgehängt, während der Arm *u* einen kleinen Stahlspiegel *s* trägt.

Durch die Haken *n* wird der Bügel sammt Drahtring und Spiegel auf eine aus Figur 1 verständliche Weise aufgehängt, die das Durchbohren der Kupferhülse überflüssig macht.

Der Bügel trägt noch zwei Fortsätze *o f* (Fig. 2), in welche ein kleiner Stahlmagnet (Fig. 1) so eingelegt wird, dass er dem Magnetring die entgegengesetzten Pole zukehrt. Durch diese der Meissner'schen Bussole eigenthümliche Einrichtung wird zugleich eine Astasirung und eine Verstärkung der Stromeswirkung in der Spirale auf die vereinten Magneten geübt.

Eine zweite Verstärkung der Empfindlichkeit des Instruments wird erzeugt durch die Aufhängeweise dieser Magneten, welche es gestattet, die Kupferhülse nicht zu unterbrechen und die Drähte über dieselbe spiralig aufzuwinden.

Die Einrichtung des Hauy'schen Stabes ist in dem Meissner'schen Elektrogalvanometer ganz in derselben Weise wie in dem Wiedemann'schen getroffen. Es wurde schon oben hervorgehoben, dass die Theilung des Hauy'schen Stabes in zwei Theile, einen beständigen feststehenden Stab und einen kleineren, der für feinere Einstellungen dient, zuerst von Meissner und Meyerstein gemacht worden ist. Mit Hilfe der schon angeführten Einrichtung dieses letzteren, welche es ihm gestattet auch um eine verticale Axe gedreht zu werden, kann man ihn auch zur Compensirung der seitlichen Ablenkungen des Magnetes verwenden.

Bei seiner grossen Beweglichkeit würde es bei ihm noch viel leichter sein, eine Einrichtung zu treffen, um, ohne den Sitz beim Fernrohr zu verlassen, seine Drehungen im Azimuth vorzunehmen.

Es würde sich lohnen, auch bei der Meissner'schen Bussole zu prüfen, ob vollkommen aperiodische Bewegungen mit ihm zu erreichen seien. Dem könnten nur die zu grossen Trägheitsmomente des Bügels nebst Spiegel und der beiden

schwingenden Magnete (s und r) störend entgegen stehen. Es würde aber ein Leichtes sein die Trägheitsmomente bedeutend zu verringern durch Weglassung des Magnetes r und Anwendung der Aufhängeweise des Magnetes s.

Das Wechseln der Spiralen ist bei der Meissner'schen Bussole weniger bequem als bei der Wiedemann'schen. Wie Fig. 3 zeigt, ist die ganze Bussole mit einem Gehäuse versehen, das nur ein Fenster für den Spiegel besitzt.

Die Einstellung der Spiegelbussolen geschieht in der Weise, dass die Axen der Spirale und der Kupferhülle senkrecht gegen den magnetischen Meridian gestellt sind.

Es muss dabei sehr genau bestimmt werden, ob diese Axen zu der magnetischen Axe des schwingenden Magnetes normal sind. Man bestimmt dies in der Weise, dass man denselben Strom einige Mal nach einander in abwechselnder Richtung durchlässt und beobachtet, ob die Ausschläge nach beiden Seiten hin gleich gross sind. Ist dies nicht der Fall, so wird das Schienenbrett (k auf Taf. XLV Fig. 3) auf der Unterlage so lange gedreht, bis die Ausschläge gleich weit werden.

Ist der Magnet richtig eingehängt und seine Ruhelage mit dem Fernrohr beobachtet worden, so muss sodann untersucht werden, ob in dieser Lage keine Torsion des Fadens stattfindet. Man hängt statt des Magnetes an den Spiegel einen Messingstab von demselben Gewicht und constatirt, ob die Stellung des Spiegels dieselbe ist, wie bei der Ruhelage des Magnetes. Ist dies nicht der Fall, so muss dies durch Drehung der Röhre, die den Faden trägt, erreicht werden.

Das Drehungsmoment, welches bei jeder Schwingung des Magnetes durch die Torsion des Fadens erzeugt wird, sucht den Magnet in seine Ruhelage zurückzubringen. Hängt, wie in den Spiegelbussolen, der Magnet an einem Coconfaden, oder an einem einfachen rohen einmal gekochten Seidenfaden, so ist die Torsion so gering, dass sie vernachlässigt werden kann.

Will man dagegen diesen Fehler bei constanten Ablenkungen mit in Rechnung ziehen, so verfährt man folgendermaassen. Man dreht die Röhre, welche den Faden trägt um $\pm 90^0$ in der Fassung und bestimmt den Winkel, um welchen der Magnet dabei von seiner Ruhelage abgelenkt worden ist. Ist dieser Winkel gleich, z. B. α bei einer Drehung der Röhre um 90^0, so wird später zu der Elongation bei der constanten Ablenkung β des Magnetes die Grösse $\frac{\beta}{90} . \alpha$ hinzuaddirt.

Diese Grösse repräsentirt die Anzahl Scalentheile, um welche der Magnet bei dieser Elongation in Folge der Torsion zurückgehalten wird.

Die Schwingungen der Magnete werden entweder mit einem Fernrohr abgelesen oder objectiv dargestellt durch die Projection von Lichtstrahlen von der Spiegeloberfläche auf ein Scala.

Wird ein Fernrohr benutzt, so stellt man gegenüber dem Spiegel eine in Millimeter getheilte Scala auf, deren Zahlen verkehrt geschrieben sind. Solche auf Papier gedruckte Scalen werden auf Leisten von trocknem Holz geklebt. Am bequemsten bringt man diese Leiste an dem Gestell des Fernrohrs selbst mittelst besonderer Hakenvorrichtungen an. Die Axe des Fernrohrs muss dabei senkrecht zur Scala sein, und in der Ruhelage des Magnetes muss der Mittelstrich der Theilung mit einem über die Mitte des Objectivs vertical befestigten Faden eine gerade Linie bilden.

Du Bois zieht mit Recht vor, die Theilung so zu machen, dass der Mittelpunkt mit diesem Mittelstrich zusammenfällt; nach der einen Seite von diesem Nullpunkt sind die Theilungen schwarz, nach der anderen roth geschrieben.

Dies erleichtert ungemein das schnelle Deuten der vorsichgehenden Ablenkungen, was bei qualitativen Versuchen, wie die meisten elektrophysiologischen es sind, grossen Vortheil bietet.

Bei der Ablenkung des Magnetspiegels sieht der Beobachter durch das Fernrohr das Spiegelbild der Scala vor dem Fadenkreuz desselben sich verschieben. Ist der Abstand des Nullpunkts a der genau auf die Axe des Fernrohr eingestellten Scala von dem Magnet b gleich ab, der Winkel, um welchen sich der Magnet abgelenkt hat, gleich α, so kann man sich durch eine leichte Construction überzeugen, dass die Entfernung ac, von a bis zu dem im Fadenkreuz erscheinenden Theilstrich c der Scala durch folgende Grösse ausgedrückt wird:

$$ac = ab.\ tg\ 2\ \alpha$$

also

$$tg\ 2\alpha = \frac{ac}{ab}.$$

Bei einer Grösse von $ab = 1$ oder 2 Meter kann wegen der Kleinheit der Ablenkungen des Spiegels die Tangente des doppelten Winkels der doppelten Tangente des Ablenkungswinkels α gleich gesetzt werden; man kann also die Stärke der ablenkenden Kraft als proportional dem abgelesenen Scalentheile ac annehmen.

Die Art vergleichende Messungen mit der Spiegelbussole zu machen, wird im nächsten Paragraph beschrieben.

Ausser mit dem Fernrohr, kann die Ablenkung des Spiegelmagnetes noch durch objective Darstellung beobachtet werden. Für Vorlesungsversuche ist diese letztere Beobachtungsweise sogar die einzig brauchbare.

Am einfachsten wird dies in der folgenden Weise ausgeführt. Man lässt im verdunkelten Zimmer das Licht, welches durch die Spalte eines Schirms von einer Petroleumlampe kommt, durch eine Linse von etwa 1 bis $1\frac{1}{2}$ M. Brennweite auf den Spiegel fallen und projicirt das reflectirte Bild der Flamme auf einer Papier-Scala. Soll die Ablenkung einem grösseren Kreise veranschaulicht werden, so benutzt man für die Scala durchsichtiges Papier.

Wiedemann schlägt vor, das Bild der Flamme auf einen Schirm von Pappe fallen zu lassen, der in der Form eines drittel Kreises von 1 M. Radius gebogen ist. Der Spiegel befindet sich im Mittelpunkt dieses Kreises. In diesen Schirm werden von Centimeter zu Centimeter Spalten gemacht, die von aussen mit durchsichtigem Papier beklebt werden. Von hinten wird das Papier durch eine Reihe von Glasflammen erleuchtet, die concentrisch um den Schirm gestellt sind.

Auf diese Weise werden direct die Bogen der Ablenkungswinkel bei 1 Meter Entfernung erhalten.

Zu ähnlichen Zwecken ersetzen Exner und Lang den Magnetspiegel durch einen runden versilberten Glasspiegel von 3 Ctm. Durchmesser, auf dessen Hinterseite eine magnetisirte Nadel in horizontaler Lage geklebt ist. Die Oeffnung der Kupferhülse verschliessen sie durch eine planconvexe Linse von 60 Ctm. Brennweite. Die convexe Seite ist gegen den Spiegel gerichtet. Auf 60 Entfernung ist

eine horizontale Papierscala auf einem verticalen Brett befestigt, in welchem gerade unterhalb der Scala auf der Höhe des Spiegels ein Loch gemacht ist, zum Durchlassen der Lichtstrahlen einer, mit einem reflectirenden Hohlspiegel von 10 Ctm. Oeffnung versehenen Argand'schen Lampe. Ein Trichter aus Pappe steckt in diesem Loch mit der engen Spitze zum Galvanometer gerichtet und dient zur Abblendung der seitlichen Strahlen.

Da der Abstand der Flammen von der Linse gleich der Brennweite der letzteren genommen ist, so gehen die gebrochenen Strahlen parallel zum Spiegel, fallen von diesem ebenfalls parallel auf die Linse und vereinigen sich in ihrem Brennpunkte, also auf der Scala.

§ VI. Messung elektromotorischer Kräfte mittelst des Compensators.

Von den vielen zur Messung der elektromotorischen Kraft inconstanter Ketten in Vorschlag gebrachten Methoden ist die Poggendorff'sche Compensationsmethode, besonders in der Modification von du Bois-Reymond, für die Elektrophysiologie besonders fruchtbar geworden.

Zur Erläuterung der Poggendorff'schen Messungsmethode diene das auf Taf. XLVI Fig. 6 abgebildete Schema.

$K\ Z$ sei ein als Maass benutztes Normalelement, z. B. ein Daniell'sches oder Grove'sches, und $K_1\ Z_1$ ein anderes Element, dessen elektromotorische Kraft gemessen werden soll. Der eine Pol Z_1 von $K_1\ Z_1$ wird mit dem Pole Z des Elements $K\ Z$ verbunden, in der Weise, dass die in dem sie verbindenden Draht $Z_1\ B\ Z$ fliessenden Ströme die entgegengesetzte Richtung besitzen.

Der zweite Pol K_1 ist mit dem einen Ende des Galvanometers G verbunden, dessen anderes Ende bei C in ein Quecksilbernäpfchen taucht.

Der zweite Pol K des Normalelements taucht ebenfalls in dieses Näpfchen. In dasselbe kann noch das verquickte Ende des Drahtes S eingetaucht werden, der zu B geht und so ein Nebenschliessdraht für das Element $K\ Z$ bildet. In diesem Draht ist der Rheostat R eingeschaltet. Durch Verstellen der Drahtlänge vom Rheostat R wird die Stärke des vom Elemente $K\ Z$ durch den Multiplicator gesendeten Stromeszweigs so gewählt, dass sie der von $K_1\ Z_1$ gleich ist. Die Nadel des Galvanometers giebt dann keinen Ausschlag: die Kette $K_1\ Z_1$ ist compensirt.

Setzt man die elektromotorische Kraft von $K\ Z = E$, die von $K_1\ Z_1 = E_1$, den Widerstand des Elements $K\ Z$ und der Drahtenden $K\ C + Z\ B = r_1$, den Widerstand des Elements $K_1\ Z_1$, der Drahtenden $B\ Z_1 + K_1\ G + G\ C$ und des Galvanometers $G = r_2$, den Widerstand des Drahtes $C\ B$ und der eingeschalteten Rheostatenlänge $= r$, so ist bei voller Compensation

$$E_1 = E\ \frac{r}{r + r_1}.$$

Man braucht also nur den Widerstand r und r_1 zu bestimmen, um den Werth von E_1 zu erhalten. Es ist aber schwierig die Bestimmung von r_1 genau zu machen, da der Widerstand des Elements bei längerem Gebrauch sich verändert.

Poggendorff hat deshalb eine Methode angegeben, welche diese Bestimmung überflüssig macht, indem sie die Grösse r_1 aus der Gleichung eliminirt.

Man führt in den Zweig B, C ausser dem Rheostat noch einen strommessenden Apparat, z. B. eine Bussole ein. Die Intensität J des Stromes in diesem Zweige $B\,C$ ist dann

$$J = \frac{E_1\, r_1 + E\, r_2}{r r_1 + r_1\, r_2 + r_2\, r}.$$

Stellt man für E_1 den bei voller Compensation gültigen Werth

$$E_1 = E\,\frac{r}{r + r_1}$$

so erhält man

$$E_1 = r\, J.$$

J wird an der Tangentenbussole abgelesen.

Auf diese Weise kann man elektromotorische Kräfte verschiedener Ketten unter einander oder mit Normalelementen vergleichen; man braucht nur J und r zu bestimmen.

Schaltet man den Rheostat statt in den Kreis $B\,C$ in den des Normalelements $B\,Z\,K\,C$ ein, so kann man durch sein Verstellen die Intensität des Stromes auf Null bringen. Dann ist

$$E_1 = J.$$

Also auch die Grösse r wird eliminirt.

Diese Messungsmethode hat du Bois-Reymond in einer Weise modificirt, die besonders bei Benutzung seines für diesen Zweck construirten Compensators es gestattet, vergleichende Messungen der elektromotorischen Kräfte der Nerven und Muskel rasch und bequem auszuführen.

Die Abweichung der du Bois'schen Methode besteht darin, dass Poggendorff die Verstellung des Widerstandes an dem ganzen Nebenschliessdraht, bei Unbeweglichkeit des Endes B (Fig. 6) ausführt, während du Bois nur die Verschiebung des Punktes B nach der einen oder der andern Seite vornimmt. Das Schema auf Taf. XXXVIII Fig. 1 erläutert das du Bois'sche Verfahren. $N\,S$ ist ein dicker, zwischen zwei Doppelklemmen aufgespannter Kupferdraht; D ein Normalelement des mittels der Pohl'schen Wippe G mit den beiden Enden dieses Drahtes verbunden ist; μ ist die zu messende Stromquelle (z. B. ein Stück Muskel), deren ein Pol mit dem Punkte N, deren anderer mit dem Galvanometer M communicirt. Das andere Ende des Galvanometers ist durch einen Draht bei r mit dem Kupferdrahte $N\,S$ derart verbunden, dass dessen Spitze auf $N\,S$ verschoben werden kann. Zu diesem Behufe hat diese Spitze einige enge spiralige Windungen, welche über $N\,S$ gleitend mit ihm überall einen gut federnden Contact bilden.

Liegt die Spitze r bei N genau an, so bildet diese Berührungsstelle einen Contact von so verschwindend kleinem Widerstande, dass von D gar kein Stromzweig durch das Galvanometer M fliesst. Wird r von N gegen S verschoben, so wird sein Widerstand immer grösser, und dem entsprechend wird von D ein kleiner Stromzweig durch M gehen, dessen Intensität proportional der Länge von $N\,r$ wachsen wird. Man verschiebt nun r gegen S so lange, bis der in entgegengesetzter Richtung das Galvanometer durchfliessende Strom von μ durch diesen Stromzweig compensirt wird. Die Länge von Nr giebt dann das Maass für die elektromotorische Kraft von μ ab; wie sich du Bois-Reymond bezeichnend ausdrückt: „am Nebenschliessdraht, wie wir ihn anwenden, misst sich die elektro-

motromotorische Kraft, wie das Zeug an der Elle." Ist E die elektromotorische Kraft des Normalelements D, y die Kraft des Elements μ, W der Widerstand der das Normalelement D einschliessenden Leitung bis zum Nebenschliessdraht, L der Widerstand des ganzen Nebenschliessdrahtes, λ der Widerstand der eigentlichen Nebenleitung, so lässt sich y aus folgender Relation bestimmen:

$$\frac{y}{E} = \frac{\lambda}{W + L}.$$

Setzen wir $W + L = C$, so ist

$$y = \frac{E}{C} \cdot \lambda.$$

Da E und C Constanten sind, so ist die zu messende elektromotorische Kraft y eine lineare Function von λ, und zwar λ einfach proportional.

Die beschriebene einfache Einrichtung des Compensators eignet sich gut für Vergleichung relativer Stärken von Strömen, und besonders dazu, um bei Verbindung der Nerven oder Muskeln mit dem Multiplicator Ströme in Folge etwaiger Ungleichmässigkeiten in den Leitungen etc. zu compensiren; besonders wichtig ist diese Anordnung bei Versuchen über die negative Stromesschwankung [1]) geworden.

Für messende Versuche hat du Bois-Reymond einen besonderen Compensator construirt, der eigentlich nichts Anderes ist als ein rundes Rheochord, der aber für den hier in Betracht kommenden Zweck besondere Bequemlichkeiten vor dem oben beschriebenen lineären Rheochord besitzt.

Auch dieses Rheochord kann übrigens für solche Messungen besonders bei stärkeren elektromotorischen Kräften als Compensator verwendet werden.

Auf Taf. XLII zeigt Fig. 1 den runden du Bois'schen Compensator und Fig. 2 das Schema seiner Einrichtung.

Eine um eine verticale Axe drehbare Messingscheibe ist von einem Ring aus gehärtetem Kautschuck umgeben.

In einer Nuth dieses Ringes von 65 Mm. Halbmesser ist der Platindraht $S\ N\ r^1\ r$ von 1 Mm. Dicke und 370 Mm. Länge aufgewunden.

Die Enden von N und S sind in fester Verbindung mit dem Klötzen ν, σ (Fig. 2) des Stöpselumschalters δ (Fig. 1), der in der Mitte der Scheibe angebracht ist. Die beiden anderen Klötze 1 und 2 des Umschalters stehen durch Schraubenklemmen 1^+ und 2^+ und durch Drähte, die in der hohlen Axe des Instruments verlaufen, in Verbindung mit den Klemmen I und II am Fussgestell aus Holz.

In diese Klemmen werden die Enden des Normalelements aufgenommen.

(In dem neuen Compensator ist der Stöpselumschalter wegen nicht genügender Sicherheit ganz weggelassen; statt seiner wird eine gewöhnliche Wippe zur Umwendung des Stromes benutzt.)

Bei O (Fig. 2) geht der Nebenschliessdraht über einen Platinsteg, der mit der Klemme IV und durch sie mit dem einen Ende des Multiplicatorkreises verbunden ist.

Die Klemme III ist einerseits mit dem anderen Ende des Multiplicatorkreises verknüpft, andererseits communicirt sie mit der kleinen, um eine Platinaxe dreh-

1) In dem nächsten Paragraphen wird noch häufig auf sie zurückgekommen.

baren Platinrolle r, die gegen den Nebenschliessdraht durch eine Feder angedrückt wird. Die Säule trägt ausser dieser Feder noch einen festen Zeiger und die Lupe zum Ablesen der Drehung. Die Leitung zwischen der Klemme III und der Rolle r wird durch einen an der Schraube der Säule angebrachten Draht vermittelt. Ist die Schraube y gelöst, so kann die Messingscheibe mittels der an ihr angebrachten Stifte frei mit der Hand gedreht werden. Bei angezogener y kann man die Mikrometerschraube k zu feineren Einstellungen benutzen.

Auf der Scheibe ist eine Theilung angebracht, und zwar so, dass die vom Nebenschliessdrahte eingenommene Peripherie der Scheibe in 1000 Theile getheilt ist. Der Nullpunkt, von dem aus die Länge λ des die elektromotorische Kraft messenden Drahtes $N\,S$ genommen werden soll, wird bestimmt, indem man zwischen III und IV ein empfindliches Galvanometer und zwischen I und II eine Säule von zwei starken Grove's einschaltet und die Scheibe so lange dreht, bis das Röllchen über den Steg O hinaus gegen N gleitet. (Siehe auf Schema Fig. 5 derselben Tafel die punktirten Linien.) Sowie der gesuchte Punkt überschritten wird, muss die Stromesrichtung im Galvanometer sich umkehren. Der Punkt, bei welchem diese Umkehr geschieht, wird als Nullpunkt verzeichnet und der Zeiger ein für allemal auf ihm gerichtet.

Bei der Anwendung des runden du Bois'schen Compensators genügt es, wie wir oben gesehen, ein für allemal den Werth von $C = W + L$, (wo W = dem Widerstand, der das Normalelement enthaltenen Leitung und L dem Widerstand des ganzen Nebenschliessdrahts) zu bestimmen, um bei bekanntem E mit Leichtigkeit den Werth y aus der Gleichung

$$y = \frac{E}{W + L} \cdot \lambda$$

zu finden.

Das Schema 5 auf Tafel XLII dient zur Erläuterung des Verfahrens, um diesen Werth leicht zu bestimmen, und einiger anderer Handgriffe, die bei Anwendung des Compensators nothwendig sind.

Die Bezeichnungen am Compensator selbst[1]) sind dieselben wie in 1 und 2.

K_1 ist das Normalelement, die Maasskette mit der elektromotorischen Kraft E_1, G_1 G_2 eine Pohl'sche Wippe, K_2 eine beliebige unbeständige oder beständige Kette, deren elektromotorische Kraft y gemessen werden soll. U_1 und U_2 sind Unterbrechungsstellen der Kreise (Quecksilberschlüssel). B_2 und B_1 sind Bussolen. Man benutzt eine und dieselbe Wiedemann'sche Bussole, die man nach Bedarf in den einen oder anderen Kreis einschaltet; Bei B_1 wird die Rolle mit geringerer Anzahl Windungen R_1, bei B_2 die mit grösserer Windungszahl R_2 benutzt.

Die Strecke $O\,N\,U_1\,B_1\,K_1\,p$ (oder Σ) S heisst der Maasskettenkreis, ihr Widerstand ist W. Die Strecke $O\,G_1\,B_2\,K_2\,U_2\,G_2\,r$ ist der Messkreis vom Widerstande M; $O\,r$ ist die Nebenleitung, ihr Widerstand heisst λ. Der Widerstand des Nebenschliessdrahtes von O bis S heisst L.

---

1) Der Stöpselumschalter ist hier weggelassen.

Durchfliesst der Strom von K_2 und der Stromzweig von K_1 den Galvanometer in entgegengesetzter Richtung und schiebt man das Röllchen in der Richtung von O nach S, so wird dieser letztere Stromzweig verstärkt; durch Verschieben von r in der einen oder anderen Richtung wird eine Stellung gefunden, bei der beide Stromstärken gleich sind; die Nadel der Bussole zeigt auf den Nullpunkt [1]).

Ist der Nebenschliessdraht von O bis S in N Theile getheilt und ist die Nadel auf dem Nullpunkt der Bussole gekommen, als das Röllchen r beim $n$ten Theilstriche des Nebenschliessdrahtes angelangt ist, so hat man

$$\lambda = \frac{n}{N} \cdot L;$$

setzt man diesen Ausdruck für λ in der Gleichung

$$y = \frac{\lambda}{W + L} \cdot E,$$

so erhält man

$$y = \frac{n}{N \cdot \left(1 + \frac{W}{L}\right)} \cdot E.$$

Um die Werthe für W und L zu bestimmen, verfährt man folgendermaassen.

Man stellt im Maasskettenkreisé die Verbindung $O\ N\ U_1\ B_1\ K\ q\ O$ her und beobachtet an der Bussole B_1 die Stromesstärke

$$J = \frac{E}{W}.$$

Sodann wird bei offenem Messkreise im Kreise $O\ N\ U_1\ B_1\ K_1\ p\ S\ r\ O$ die Stromesstärke

$$J_1 = \frac{E}{W + L}$$

bestimmt.

Setzt man das Verhältniss von $\frac{J}{J_1} = m$, so hat man

$$\frac{J}{J_1} = m = \frac{W + L}{W},$$

also

$$\frac{W}{L} = \frac{1}{m - 1}.$$

Setzt man diesen Werth von $\frac{W}{L}$ in die obige Gleichung von y, so erhält man

$$y = n \cdot \frac{m - 1}{m\ N} \cdot E.$$

Der ächte Bruch $\frac{m-1}{m\ N}$ behält denselben Werth, solange W und L constant

---

1) Der Stromzweig J_1 in der Nebenleitung wird ausgedrückt durch

$$J_1 = \frac{E}{W + L}.$$

Da $y = J_1 \cdot \lambda$ (Kirchhoff'scher Satz), so hat man

$$y = \frac{E}{W + L} \cdot \lambda.$$ (Siehe oben.)

bleiben. Man braucht ihn also in jeder Vorrichtung nur einmal zu bestimmen, nur muss man später als Maasskette immer dasselbe Normalelement benutzen und ihren Strom in gleicher Art mit dem Nebenschliessdraht verbinden.

Bezeichnen wir bei einem bestimmten Compensator den ächten Bruch $\frac{m-1}{m\,N}$ durch $\frac{1}{K}$, bei Anwendung eines Daniell'schen Elements von der elektromotorischen Kraft E_1, so heisst die Grösse $\left(\frac{E}{K}\right)$ die Graduationsconstante [1]) dieses Compensators. Wir haben dann

$$y = n.\left(\frac{E}{K}\right).$$

Man braucht also bei Anwendung des Compensators zur Messung der elektromotorischen Kraft irgend einer Stromquelle nur durch Verschiebung des Röllchens den Theilstrich n zu finden, bei welchem die Magnetnadel auf dem Nullpunkt stehen bleibt, und dann dies n mit der Graduationsconstante zu multipliciren, um die gesuchte Grösse zu finden.

Es ist vortheilhaft, der Graduationsconstante irgend ein Werth zu geben, mit dem es sich bequem rechnen lässt. Man kann diesen Werth wählen, indem man W, also die Länge der Zuleitungsdrähte der Kette K_1, beliebig vergrössert oder verkleinert. Man kann dabei der Graduationsconstante einen gewünschten Werth ertheilen, indem man auch W eine bestimmte Grösse verleiht. Will man sich dabei auch die Messung von W ersparen, so kann man empirisch bei den Ablesungen von J und J_1 W so lange verändern, bis $\frac{J}{J_1} = m$ den gewünschten Werth erhält.

Um W möglichst constant zu erhalten, führt man die Wippe, deren Widerstand immer variabel ist, in dem Messkreis ein (siehe Schema), da der Widerstand M des Messkreises bei der Berechnung von y nicht in Betracht kommt.

Bei U_1 muss Schliessung und Oeffnung des Maasskettenkreises aus demselben Grunde mit einem Quecksilberschlüssel stattfinden.

Die Stellung des Röllchens, welche dem Punkte O entspricht, wird auf die oben angegebene Weise ermittelt.

Bei der Ablesung der Grössen J und J_1 zum Zwecke die Graduationsconstante zu bestimmen, ist es, wie schon angegeben, nothwendig, den Draht $N\,S$ aus dem Maasskettenkreise aus- oder in denselben einzuschliessen, indem die Leitung

---

1) Man kann die Graduationsconstante noch auf eine viel einfachere Weise bestimmen. Man führt statt der Kette K_2 eine andere Kette, deren elektromotorische Kraft D bekannt ist, z. B. eine Thermokette, ein und bestimmt nun, bei welcher Stellung von r die volle Compensation eintritt; sei dies beim Theilstrich i. Man hat dann:

$$D = i\,\frac{E}{K}$$

$$\text{also } \left(\frac{E}{K}\right) = \frac{D}{i}.$$

des einen Pols des Elements K_1 das eine Mal direct mit O verbunden wird (K_1 q O), das andere Mal durch S N (K_1 p S). (Siehe Fig. 5.) Zur Vermeidung dieser Umstellung lässt sich beim Punkte Σ dieser Leitung ein drehbarer kupferner Bügel einschalten, dem man die Stellung Σ O oder Σ S giebt, je nachdem J oder J_1 abgelesen werden soll. Die Enden dieses Bügels, der verschwindende Widerstände bietet, sind mit Platin bekleidet und werden mittelst starker Schrauben an bei S und O befindlichen mit Platinflächen versehenen Klemmen angebracht.

Sind die Graduationsconstanten einmal bestimmt, so behält der Bügel die Stellung Σ S.

In den früheren Paragraphen sind zwei Instrumente beschrieben, die nach derselben du Bois-Reymond'schen Methode gestatten, mit grosser Genauigkeit Messungen elektromotorischer Kräfte auszuführen: der Universalrheostat und das Universalgalvanometer von Siemens. Die Messungen lassen sich mit Hilfe dieser vortrefflichen Instrumente, wenn möglich, noch leichter und bequemer ausführen.

§ VII. Die Inductionsapparate; ihre Graduirung und besondere Einrichtungen.

Der Inductionsapparat ist das in der Physiologie verbreiteste aller physikalischen Instrumente. Die bevorzugteste Form der Inductionsapparate ist die von du Bois-Reymond ihnen gegebene, welche auf Taf. XXXIX und XLV dargestellt ist.

Die Schlittenvorrichtung, die in den neuesten Apparaten von doppelter Länge und zum bequemen Zusammenklappen eingerichtet ist, hat sich bis jetzt noch als die geeignetste Art, die Ströme der Inductionsschläge am Magnetelektromotor abzustufen[1]), bewährt.

Die regelmässigen Unterbrechungen des primären Kreises geschehen im du Bois'schen Schlitten mittelst des selbstthätigen Wagner'schen Hammers, in der Form, wie ihn Halske letztens gegeben hat.

Die Einrichtung des du Bois'schen Schlittenmagnetelektromotors ist zu bekannt, als dass es nöthig wäre, hier auf dieselbe einzugehen. Nur einige an ihm zu treffende Nebenvorrichtungen sollen besprochen werden.

Das genaue Spiel des Hammers ist für die Verwendbarkeit der Inductionsströme zu elektro-physiologischen Zwecken von grösster Bedeutung. Von der Regelmässigkeit dieses Spieles hängt sowohl die Zahl der Schläge, welche der Magnetelektromotor zu ertheilen vermag, als auch theilweise die Stärke dieser Schläge ab. Je nach der grösseren oder geringeren Vollkommenheit nämlich, mit welcher der Contact durch den schwingenden Hammer hergestellt wird, ist der Hauptstrom, also auch der von ihm inducirte Nebenstrom, stärker oder schwächer.

In den neueren Hammern sind einige Vorrichtungen getroffen, um das Spiel dieses Unterbrechers vollkommener zu machen. So z. B. ist an dem Halske'schen Hammer, der auf Taf. XXXVIII Fig. 3 abgebildet ist, eine Spiralfeder angebracht worden, um den Contact des schwingenden Hebels h k gegen die Platinspitze der Schraube S zu sichern. Durch eine Schraube lässt sich die Wirkung

---

1) Jos. Henry hat zuerst die Schlitteneinrichtung zur Abstufung der Inductionsapparate vorgeschlagen. Ohne von diesem Vorschlage Kenntniss zu haben, hat du Bois seinen Inductionsapparat mit dieser Einrichtung versehen.

dieser Spiralfeder variiren und damit auch die Schwingungsfähigkeit des Hebels verändern.

Auf der oberen Fläche des Hebels ist ausserdem eine Feder aus Neusilber befestigt, welche das Platinplättchen für den Contact mit der Schraube *S* trägt und ausserdem mit der Schraube *S'* versehen ist. Beim Anziehen des Ankers wird der Contact an der Schraube *S* nicht sofort gelöst, sondern erst wenn der Knopf der Schraube *S'* die Neusilberfeder erfasst und sie gleichsam von der Schraube *S* abreisst. Dadurch hat der Elektromagnet Zeit, seinen vollen Magnetismus zu erlangen und kräftig den Anker anzuziehen.

An den neueren Halske'schen Unterbrechern ist noch ausserdem die Möglichkeit gegeben, durch Anbringung einer Messingkugel auf den verlängerten Fortsatz des Hebels, die man dem Anker nähern oder von demselben entfernen kann, die Zahl der Schwingungen des Ankers in der Secunde in ziemlich weiten Grenzen zu variiren. Da der Anker an diesen Unterbrechern schon ziemlich stark genommen werden muss, so ist es nothwendig, den Unterbrecher nicht nach der Neef'schen Art an das Gestell des Inductionsapparates selbst, sondern möglichst weit von demselben anzubringen, da sonst der schwingende Anker, der selbst magnetisch wird, auf die primäre Spirale inducirend wirken kann.

Alle die erwähnten Verbesserungen sind im Stande, den Gang des Hammers regelmässiger zu machen, aber genau bleibt dieser Unterbrecher nur bei relativ geringer Unterbrechungszahl. Sobald diese Zahl 20—30 in der Secunde überschreitet, ist die Vorrichtung schon ganz unzuverlässig, und für die Fälle, wo es auf die genaue Zahl der dem Nerven in der Secunde ertheilten Wechselschläge ankommt, muss man zu anderen Unterbrechungsmethoden greifen.

Zuerst bieten sich hier als Unterbrecher schwingende Stäbe und Gabeln.

So hat z. B. Bernstein, wie schon oben erwähnt, zu einem akustischen Unterbrecher Zuflucht genommen, bei welchem ein schwingender Stab den Contact in einem Quecksilbernäpfchen unterbricht und wiederherstellt. Aber auch dieses Verfahren giebt nicht genaue Resultate. Abgesehen davon, dass wegen der sich auf dem Quecksilber bildenden Oxydschicht die Genauigkeit des Contactes selbst leidet, also ein verschieden grosser Widerstand bei den einzelnen Schliessungen stattfindet, so entspricht auch die Zahl der wirklich stattfindenden Unterbrechungen nicht immer genau der Schwingungszahl des Stabes. Durch die häufigen Stösse, welche das Quecksilber von der einschlagenden Spitze erleidet, wird es fortwährend auseinander gespritzt, und es stellt sich ein continuirlicher Contact zwischen der Spitze und dem Quecksilber her, der nur in unregelmässigen Intervallen unterbrochen wird.

Nicht besser steht es um die anderen schwingenden Stäbe, wo, wie z. B. bei dem Frommen t'schen, der Contact nicht durch Quecksilber hergestellt wird.

Nur bei den ersten Schwingungen wird wirklich voller Contact erzielt, bei den folgenden wird er schon sehr ungleichmässig; wird die Zahl der Unterbrechungen sehr häufig, so setzt der Contact von Zeit zu Zeit aus.[1])

1) Setschenow hatte Gelegenheit, sich direct davon zu überzeugen.

Die äusserste Grenze der Schwingungszahl, bei welcher solche akustische Unterbrecher noch als zuverlässig zu betrachten sind, ist 150—200 in der Secunde. Darüber hinaus versagen sie.

Bei dem Halske'schen Hammer kann man von 3 bis 20 oder 30 regelmässige Unterbrechungen in der Secunde erhalten; man stellt ihn daher so ein, dass er eben die Grenze der zum Tetanus erforderlichen Schwingungszahl überschreitet.

Die einzige Weise, eine grössere Zahl wirklich regelmässiger Unterbrechungen herzustellen, wäre die von Grossmann angewendete.

Ein stark magnetisirter Stahlstab[1]) wird in der Mitte seiner Länge in ein Gestell gespannt, wie es bei Versuchen mit Klangscheiben üblich ist.

Unter den einen Pol dieses Magnetes wird die Nebenrolle eines Inductionsapparates mit ihrer Achse senkrecht zur flachen Seite des Magnetes so nahe aufgestellt, als die freie Beweglichkeit dieses letzteren es gestattet. Versetzt man die freie Hälfte des Magnetstabes mittelst des Violinbogens in tönende Schwingungen, so geräth der Muskel in Tetanus. Durch eine geeignete Wahl der Dimensionen des Stabes würde man auf diese Weise eine beliebige Anzahl von Strömen in der Secunde in einer Rolle inducíren können.

Ein weiterer Mangel der Inductionsapparate besteht in der Ungleichmässigkeit der Oeffnungs- und Schliessungsströme. Die Schliessungsschläge sind schwächer und anhaltender, die Oeffnungsschläge stärker und kürzer.

Bei der bekannten Abhängigkeit der physiologischen Wirkungen der Stromschläge von ihrer Dauer und Stärke ist diese Ungleichmässigkeit sehr störend. Dies um so mehr, als man häufig beim Tetanisiren sich durchaus der Wechselströme bedienen muss, um z. B. die elektrotonischen Wirkungen der gleichgerichteten Ströme zu vermeiden.

Den Grund der Ungleichmässigkeit der Oeffnungs- und Schliessungsschläge hat Jos. Henry zuerst ganz richtig erkannt. Sie rührt daher, dass beim Schliessen des Kettenstromes der sich in der Spirale entwickelnde Extrastrom, von der entgegengesetzten Richtung als der der Kette, das Entstehen des inducirten Stromes verzögert und seine Wirkung schwächt.

Beim Oeffnen des primären Kreises kann dagegen der Extrastrom wegen des Offenseins des Kreises nicht zur Geltung kommen, und der inducirte Strom kommt in voller Stärke zur Entwickelung.

Diese Ungleichmässigkeit kann durch mehrere Umstände vermindert werden, entweder indem man den Extrastrom überhaupt schwächt durch Anbringung von wenigen Windungen in der Spirale, oder dass man nur den Anfangsextrastrom schwächt, beziehlich den Endextrastrom zur Geltung kommen lässt.

Da in dem du Bois'schen Schlitten die primäre Rolle nur eine relativ geringe Anzahl von Windungen besitzt, so ist dadurch schon ein günstigeres Verhältniss der Ungleichmässigkeiten gegeben.

Henry versuchte sie dadurch zu vermeiden, dass er durch Einführung eines grösseren Widerstandes im primären Kreis den Anfangsextrastrom schwächte. Um aber dadurch die Induction in der secundären Rolle nicht zu sehr zu vermindern,

1) In den Versuchen von R. Grossmann hatte der Stab 250^{mm} Länge, 10^{mm} Breite und 3^{mm} Dicke.

erhöhte er den Widerstand dadurch, dass er statt einer einfachen Kette eine vielgliedrige Säule als Stromquelle verwendete.

Auf diese Weise gelang es Henry, den Schliessungsschlag dem Oeffnungsschlage nicht nur gleich, sondern sogar überlegen zu machen.

Henry zeigte ausserdem, dass, wenn man dem Hauptstrome nicht durch das Oeffnen des Kreises, sondern durch das Schliessen einer guten Nebenleitung ein Ende macht, die Stärke des Oeffnungsschlages sich dann auch der des Schliessungsschlages nähert. Dies, weil durch die Herstellung einer Nebenleitung der Extrastrom sich durch sie ergiesst und dadurch eine allmähliche Abnahme des Hauptstromes — also auch ein Verzögern des Oeffnungsinductionsschlages — erzeugt.

Von dieser Henry'schen Erfahrung ausgehend, hat Helmholtz am du Bois'schen Schlittenelektromotor eine Einrichtung getroffen, deren Wirkungsweise am besten durch die auf Taf. XLIII Fig. 4 gegebene Abbildung verdeutlicht wird.

Anstatt der Klemmschraube für den Zinkpol des gewöhnlichen Inductionsapparates (Fig. 3 der Taf. XXXIX) besitzt die neue Einrichtung eine Säule *a*, welche oben eine Schraube *f* mit einem Platinstift trägt. Die andere Säule, für den schwingenden Hebel, ist durch einen dicken Draht *g* mit der oberen Schraube *f'* verbunden. Beim Anziehen des Ankers *h* an den Elektromagnet *b* wird das Platinplättchen, welches an der unteren Seite des Hebels liegt, an die Platinspitze der Schraube *f* angedrückt und die geschlossene Nebenleitung wird gebildet durch die Säule *g'*, das Hebelstück bis *f* und die Säule *a*. Durch die Schliessung dieser Nebenleitung verliert der Elektromagnet *b* seinen Magnetismus, der Anker *h* springt in die Höhe und der Strom wird jetzt durch die Hauptsäule geschlossen (Säule *g'*, Draht *g*, Schraube *f*, primäre Rolle *c*, Elektromagnet *b* und Säule *a*). Der von Neuem magnetisch gewordene *b* zieht den Anker von Neuem herunter, die Nebenschliessung wird hergestellt und der Strom in *c* wird wieder plötzlich stark geschwächt.

Die Schraube *f'* wird dabei hoch hinauf geschraubt, da die Leitung zwischen der Säule, die den Hebel trägt, und dieser Schraube jetzt durch den Draht *g* hergestellt wird, der Contact von *h* und *f'* also überflüssig ist; er würde nur die Schwingungen des Hebels hemmen.[1])

Durch die Helmholtz'sche Einrichtung wird sowohl der Schliessungs- als der Oeffnungsstrom bedeutend geschwächt. Denn jetzt werden in der secundären Rolle die Ströme nicht durch das plötzliche Anwachsen oder Abnehmen des Stromes in der Hauptrolle von Null bis zum Maximum inducirt, sondern durch Verstärkung oder Schwächung des in der primären Rolle zurückbleibenden schwachen Stromes. Wegen des aus demselben Grunde jetzt geschwächten Elektromagnetes ist das Spiel des Ankers verlangsamt worden. Auch lässt sich bei dieser Einrichtung das Princip des oben beschriebenen Halske'schen Hammers nicht verwenden; hier, wo es auf die Unterbrechung einer Nebenleitung ankommt, würde die neusilberne

1) Während man bei der gewöhnlichen Einrichtung des Schlittenelektromotors, um den Anker in Spiel zu bringen, ohne den Hebel in Schwingungen zu versetzen, beim Schluss des Stromes diesen letzteren an die Schraube *f'* anlegen muss, ist bei der Helmholtz'schen Einrichtung das Gegentheil erforderlich: die Feder darf nicht an der Schraube *f* anliegen, sonst wird von Anfang an die Nebenleitung geschlossen und der Elektromagnet kann nicht zur Wirkung gelangen.

Hilfsfeder nebst Schräubchen S' die Wirkungszeit des Elektromagnetes statt zu verlängern nur abkürzen.

Dagegen ist, wie gesagt, die Differenz in der Stärke der beiden Inductionsschläge um ein Bedeutendes verringert worden; ja sie schlägt sogar um, indem der Anfangsstrom stärker als der Endstrom wird.

Aus einer Untersuchung, welche du Bois-Reymond angestellt hat, um die Bedingungen zu finden, bei welchen diese beiden Ströme genau congruent gemacht werden könnten, folgt, dass dies wenigstens bei Benutzung selbstthätiger Unterbrecher sehr schwer herzustellen ist.

Seine analytischen Ableitungen, die er auch experimentell bestätigt hat, zeigen nämlich, dass eine Gleichmässigkeit beider Ströme bei der Anwendung der Helmholtz'schen Nebenleitung nur dann zu erreichen ist, wenn der Widerstand der Kette und der Feder als unendlich klein gegen den der primären Rolle angesehen werden kann.[1])

Wollte man also dieser Bedingung in den gewöhnlichen Inductionsapparaten Genüge leisten, so würden nicht nur die erhaltenen Ströme, sogar bei aufgeschobenen Rollen, zu schwach für physiologische Zwecke sein, sondern auch das Spiel der Feder würde dann aufhören.

Man müsste denn die ganze als Widerstand benutzte Drahtlänge zu Windungen der primären Spirale verwenden. Aber auch in diesem Falle wäre es noch fraglich, ob die Congruenz auch beim Spiel des federnden Hebels noch bestehen bleiben würde. Du Bois beobachtete nämlich, dass auch bei Einschaltung von passenden Widerständen in den primären Kreis die Congruenz nur stattfindet, wenn das Schliessen und Oeffnen der Nebenleitung möglichst gleich rasch ausgeführt wird. Eine solche Gleichheit zwischen der Bildung des Contacts beim Anlegen des Hebels an die Spitze der Schraube f' und zwischen der Lösung dieses Contacts ist aber nicht zu erwarten.

Wollte man aber nur annähernd congruente Anfang- und Endströme erhalten, so müsste man 1) die Zahl der Windungen in der secundären Spirale vergrössern[2]), um trotz der Schwächung des primären Stromes noch genügend starke Inductionsströme zu erhalten, 2) zum selben Zwecke in die primäre Rolle mehrere Drahtbündel einlegen (nach du Bois's Versuchen hat das Einführen der Drahtbündel keinen Einfluss auf die Congruenz der Schläge), 3) in den primären Kreis den Widerstand von einigen Tausend Siemens'schen Einheiten einschalten. Dieselben als Windungen in die Rolle aufzunehmen, wäre kaum rath-

1) Wundt's Behauptung, zur Herstellung dieser Gleichheit würde es genügen, den Widerstand der Nebenleitung verschwindend gegen den der Kette und der Rolle zu nehmen, ist, wie du Bois bewiesen, nicht zutreffend.

2) Bei den du Bois'schen Versuchen schwächten 800 Siemens'sche Einheiten, in den primären Kreis eines gewöhnlichen Inductionsapparates eingeführt, den inducirten Schlag schon so sehr, dass sogar beim Aufschieben der einen Rolle auf die andere keine Zuckung am frischen Froschschenkel vom Ischiadicus aus zu erhalten war. Dagegen konnte er bei 9845 Windungen der secundären Rolle mehr als 5000 S. E. einschalten und noch bei gehörigem Rollenstand congruente Zuckungen erhalten. Bei eingeschobenem Drahtbündel konnte er noch congruente Zuckungen auch bei einem gewöhnlichen Inductionsapparat erlangen, wenn nicht viel mehr als 2000 S. E. eingeschaltet waren.

sam, da dadurch die Extraströme bedeutend verstärkt werden. 4) Statt der gewöhnlichen selbstthätigen Unterbrecher müsste man ein System von Unterbrechungsrädern herzustellen suchen, das durch ein Uhrwerk in Bewegung gesetzt wird.

Valentin sucht in seinem Inductionsapparate (Taf. XLV Fig. 5) die Congruenz der beiden Schläge dadurch zu erzielen, dass er durch die primäre Rolle zwei Ströme durchleitet; der eine durchfliesst die Rolle constant, der andere wird durch den Hammer unterbrochen. Auch hier kann der Extrastrom sich durch die Leitung des zweiten Kreises, der als Nebenleitung dient, abgleichen.

Eine weitere Anforderung, der bei der physiologischen Anwendung der Inductionsströme oft Genüge geleistet werden muss, besteht darin, dass man willkürlich entweder die einen oder die anderen Ströme der zweiten Spirale abzublenden im Stande sei. Wegen der schwer zu erzielenden Gleichmässigkeit des Schliessungs- und Oeffnungsschlages ist es nämlich bei allen Reizungen, wo der Nerv in gewissen Intervallen von einem gleich starken Reiz getroffen werden soll, vortheilhaft den einen oder den anderen dieser Schläge zu wählen; ausser dem immer gleich starken Reize hat man dabei noch den Vortheil, dass man nicht bei jedem Schlage den Strom noch besonders umkehren muss, um den Nerv in gleicher Richtung durchfliessen zu lassen.

Man kann den Nerv von dem einen Strom befreien, wenn man im Momente des Geschehens dieses Schlages eine gut leitende Nebenschliessung im Kreise der secundären Rolle anbringt.

Sollen die einzelnen Ströme nicht zu häufig nach einander folgen, so schaltet man eine solche Nebenleitung vor der Oeffnung des primären Kreises ein, wenn der Nerv nur vom Schliessungsschlag, vor der Schliessung, wenn er nur vom Oeffnungsschlage getroffen werden soll. Zur Vermeidung unipolarer Wirkungen (s. u.) eignet sich eine solche Einrichtung sehr gut.

Sollen aber die Ströme in schneller Reihenfolge dem thierischen Theile zugeführt werden, so ist eine solche Einschaltung einer Nebenleitung aus freier Hand sehr schwer auszuführen. Pflüger, der die Nothwendigkeit einer solchen Vorrichtung bei seinen Versuchen erkannte, hat daher eine andere Einrichtung getroffen, um die Oeffnungsschläge sicher abzublenden.

Die Grundidee dieser Einrichtung besteht darin, dass der primäre Kreis, wenn er geschlossen wird, gleichzeitig selbst eine Nebenschliessung für den thierischen Theil herstellt, die die Oeffnung des primären Stromes um etwas überdauert.

Er befestigte an dem Anker des schwingenden Hebels einen dünnen Glasstab, der mit einem Drahtbügel endete. Dieser Bügel war vertical gestellt und seine beiden nach unten gerichteten gleich langen Arme tauchten beim Anlegen des Ankers an den Elektromagnet in zwei ihnen gegenüberstehende Eisennäpfe, die mit Quecksilber gefüllt waren. Im Moment des Anlegens berührten gerade die Enden dieser Arme die Quecksilberoberfläche.

Der Strom wurde dem primären Kreis in der Weise zugeführt, dass er zunächst zum Elektromagnet trat, diesen umkreiste und dann zur primären Spirale ging; nachdem er diese durchlaufen hat, verliess er sofort den Inductionsapparat, ohne von der Spitze der Schraube zum schwingenden Hebel zu gehen. Um dieses directe Verlassen der primären Rolle zu ermöglichen, wurde der zweite

Poldraht mit einer der Klemmen (*d* Fig. 3 Taf. XXXIX) verbunden, welche gewöhnlich dazu dient, um den Extrastrom abzuleiten.

Jedes Ende der secundären Spirale ist ausser mit dem thierischen Theil noch mit einem Quecksilbernäpfchen leitend verbunden.[1]) Ist der oben erwähnte Bügel mit seinen Enden in die beiden Näpfchen getaucht, so bildet er eine gute Nebenschliessung für den thierischen Theil.

Das Spiel der Einrichtung besteht nun im Folgenden: Im Moment, wo der Strom geschlossen wird, taucht dieser Bügel noch nicht in das Quecksilber, weil der ihn tragende Anker von dem federnden Hebel noch in die Höhe gehoben ist. Nachdem der Magnetismus des kleinen Elektromagnetes eine Stärke erreicht hat, welche für die Ueberwindung der elastischen Kraft des federnden Hebels genügt, wird der Anker von dem Elektromagnet angezogen: die Nebenschliessung wird gebildet. Sie bleibt bestehen, so lange auch der primäre Kreis geschlossen ist. Wird dieser geöffnet, so bildet sich der Oeffnungsinductionsstrom schneller, als der Anker den vollen Magnetismus verliert und der federnde Hebel Zeit hat, den Contact der Bügelspitzen mit dem Quecksilber zu lösen. Die Nebenschliessung bleibt also noch, während der Oeffnungsstrom abfliesst.

Durch geeignete Einstellung der Quecksilbernäpfe wird dafür gesorgt, dass die Spitzen des Bügels beim Anliegen des Ankers an dem Elektromagnet tief hineinragen, um ein verspätetes Lösen des Contactes herbeizuführen. Um das Anhalten des Ankers an den Elektromagnet auch nach dem Verschwinden des grössten Theils seines Magnetismus zu verhüten, bedeckte Pflüger dessen untere Fläche mit Colophoniumkitt; die elastische Kraft des federnden Hebels konnte in Folge dessen nach Oeffnung des Stromes leichter zur Geltung kommen.

In derselben Weise wie Pflüger hat auch Kronecker die Oeffnungsschläge abgeblendet; nur hat er seinem dazu dienenden Apparat noch die weitere Einrichtung gegeben, die es gestattet, nach Belieben auch die Schliessungsschläge abzublenden.

Die Kronecker'sche Einrichtung ist auf Taf. XLI Fig. 4 abgebildet.

Die Wirkungsweise dieses Apparates wird sofort verständlich, wenn man sich denkt, dass man statt eines einarmigen schwingenden Hebels einen zweiarmigen hat, dessen Drehungsachse sich gerade in der Mitte befindet. An beiden Enden dieses Hebels sind ähnliche Einrichtungen für die Bildung von Nebenschliessungen getroffen, wie bei Pflüger an dem einen Ende des Hebels.

Wird die Nebenschliessung, welche sich auf der Seite des Ankers befindet, mit den Enden der secundären Spirale verbunden, so sind die Oeffnungsschläge ganz in derselben Weise wie bei Pflüger abgeblendet. Verbindet man dagegen die andere Nebenschliessung mit den Enden der secundären Spirale, so werden die Schliessungsschläge ausgeschlossen.

Die Säule *D* trägt oben ein Achsenlager für den messingenen Doppelhebel *B*; *o* ist ein an ihm angebrachter schwerer Anker, der gerade über den Elektromagnet

1) Zu diesem Zweeke müssen die Klemmschrauben der zweiten Spirale doppelt durchbohrt sein.

2) Auf der Zeichnung ist der Apparat ganz unabhängig von dem Inductionsapparate aufgestellt. Dies muss auch in der Wirklichkeit so geschehen, damit die inducirende Wirkung des starken Ankers auf die Spiralen vermieden wird.

A zu liegen kommt. Das Stativ *C* des Elektromagnetes *A* gestattet, ihn beliebig dem Anker zu nähern. *n m* und *e f* sind die durch Kammmasse isolirten Bügel mit verquickten Spitzen, welche in die Eisennäpfe *a a'* beziehlich *b b'* eintauchen können. Diese Näpfe sind mit den Klemmschrauben *h h'* und *g g'* leitend verbunden; *l* und *l'* sind Klemmschrauben für die Enden der die primäre Rolle speisenden Kette.

Soll der Apparat in Thätigkeit gesetzt werden, so verbindet man die Klemme *l* mit dem einen Pol der Kette und *l'* mit der einen Klemme der primären Spirale, welche zur Ableitung des Extrastromes dient (z. B. mit der Klemme *d* Figur 3 Taf. XXXIX). Der andere Pol der Kette wird mit der zweiten Klemme (*f* derselben Figur) dieser Spirale verbunden. Will man die Oeffnungsschläge abblenden, so verbindet man die Klemmen *h* und *h'* mit den beiden Enden der secundären Spirale, welche gleichzeitig auch mit den thierischen Theilen durch Drähte verknüpft sind. Der Hebel wird so eingestellt, dass die Enden *n* und *m* nicht das Quecksilber berühren.

Wird der Strom geschlossen, so wird *A* magnetisch, zieht den Anker *o* an, wobei der Bügel *n m* in die Quecksilbergefässe taucht. Da dieses Eintauchen später geschieht, als der Schliessungsinductionsschlag sich gebildet hat, so sind die thierischen Theile von ihm getroffen worden.

Wird der Strom geöffnet, so schützt diese Nebenschliessung diese Theile vor dem Oeffnungsschlag, da sie erst gelöst wird, wenn dieser Schlag schon vorüber ist.

Soll dagegen der Schliessungsschlag abgeblendet werden, so setzt man die Klemmen *g* und *g'* mit den Enden der secundären Spirale in Verbindung, *e* und *f* sind in die Näpfchen getaucht, also die Nebenschliessung hergestellt. Wird jetzt der Strom geschlossen, so zieht der Elektromagnet *A* den Anker *o* an, der Bügel *e f* verlässt die Näpfchen aber erst, wenn der Schliessungsschlag schon vorüber ist. Beim Oeffnen des Stromes ist aber die Nebenschliessung schon gelöst, der Oeffnungsschlag trifft also ungehindert die thierischen Theile.

Wie aus dem Gesagten hervorgeht, muss bei beiden Abblendungen die Anfangsstellung des Hebels vor der Schliessung des Stromes die sein, dass der Bügel *n m* ausserhalb der Näpfchen ragt, also rechts (auf der Zeichnung) keine Nebenschliessung stattfindet, während *e f* in die Näpfe tauchen, also links die Nebenschliessung gebildet ist. Dies wird mit einer Spiralfeder oder dadurch erreicht, dass der linke Hebelarm schwerer als der rechte ist. Wenn daher der Strom geöffnet wird, so wird dadurch in dem einen Falle rechts die Nebenschliessung geöffnet, in dem anderen Falle links geschlossen.

Das Näpfchen *c* mit der verquickten Drahtspitze *d* kann dazu benutzt werden, um, wenn erforderlich, noch gleichzeitig einen dritten Contact zu lösen oder herzustellen, wenn dies in denselben Intervallen geschehen muss, wie dem thierischen Theile die Ströme zugeführt werden.

Sowohl bei der Pflüger'schen, als bei der Kronecker'schen Einrichtung, findet kein selbstthätiges Spiel des unterbrechenden Hammers statt, weil bei der beschriebenen Verbindungsweise des Stroms mit dem Inductionsapparat dasjenige Moment fortfällt, welches eben beim Wagner'schen Hammer das ganze Spiel bedingt, nämlich die Unterbrechung des Stromes beim Ablösen des federnden Hebels von der Contactspitze der Schraube *e* (Taf. XXXIX Fig. 3).

Werden also diese Einrichtungen verwendet, so wird für ein regelmässiges Unterbrechen des Stromes durch einen anderen Unterbrecher, z. B. einen Metronom oder ein anderes Uhrwerk, gesorgt.

Eine von Valentin zu demselben Zwecke getroffene Einrichtung gestattet dagegen auch das freie Spiel des Wagner'schen Unterbrechers bei beliebiger Abblendung der einen Reihe von Strömen. Der mit dieser Einrichtung versehene Valentin'sche Schlittenelektromotor[1]) ist auf Taf. XLV Fig. 5 abgebildet; er bietet ausserdem noch andere bemerkenswerthe Einrichtungen.

Der Anker des Hammers trägt einen rechtwinklig nach unten gebogenen Platindraht, der in Quecksilber, das in einem kleinen cylindrischen Näpfchen aus Eisen enthalten ist, taucht; das Näpfchen wird von dem Messingstück *s* getragen. Dieser Platindraht ist von dem schwingenden Hammer isolirt.

Das Messingstück *b* trägt eine, durch eine Schraube in verticaler Richtung verstellbare Gabel, zwischen deren Zinken *ee* der horizontale Theil des Platindrahts zu liegen kommt. Die den Drähten zugekehrten Flächen dieser Zinken sind mit Platincontacten versehen.

Werden gewöhnliche Wechselströme von diesem Inductionsapparate abgeleitet, so stellt man mittelst der Schraube die Gabel so ein, dass der Platindraht beim Schwingen des Ankers mit den Zinken nicht in Berührung kommt. Die Verbindungen des Apparates sind dann wie beim gewöhnlichen du Bois'schen Schlitten.

Klemmen 1 und 2 werden mit den Polen des Elements, Klemmen 8 und 9, welche die Enden der secundären Rolle aufnehmen, mit den thierischen Theilen verbunden.

Sollen die Schliessungsinductionsströme abgeblendet werden, so wird mittelst der Schraube die Gabel so eingestellt, dass der Platindraht so nahe der oberen Zinke zu liegen kommt, dass er bei seinen Schwingungen den Contact mit dieser Zinke herstellt. Dabei muss dieser Contact eher zu Stande kommen, als der des federnden Hebels mit der Spitze der Schraube 7; auch muss er vor der Lösung dieses letzteren unterbrochen werden.

Verbindet man dabei die Klemme 8 mit der Klemme 5 und die Klemme 9 mit der Klemme 6, so hat man folgende Nebenschliessung für den Schliessungsschlag: das Messingstück 5, den Eisencylinder *b* und das Quecksilber, den Platindraht, die Gabel und das Messingstück 6, welches die Gabel trägt.

Die thierischen Theile, welche auch mit den Enden der secundären Spirale 8 und 9 verbunden sind, erhalten also nur Oeffnungsschläge.

Schraubt man dagegen die Gabel so herauf, dass ihre untere Zinke mit dem Platindrahte beim Niedergehen des Ankers in Berührung kommen kann und zwar früher, als der Hebel den Contact der Schraube 7 verlassen hat, so wird bei der gleichen Verbindungsweise der Klemmen wie früher jetzt die Nebenschliessung für den Oeffnungsschlag gebildet und die thierischen Theile werden nur von den Schliessungsschlägen getroffen.

---

1) Ich verdanke die Abbildung nebst Beschreibung dieses Apparates einer freundlichen Zusendung von Seiten des verehrten Herrn Professor Valentin. Die Beschreibung ist seitdem auch in der Zeitschrift für Biologie veröffentlicht worden.

Wie Valentin sich mit Hilfe des Galvanometers und der Jodelektrolyse überzeugt hat, functionirt diese Einrichtung sehr genau, besonders wenn zur Speisung der Hauptrolle eine kräftige Stromquelle benutzt wird, z. B. drei grosse mit verdünnter Schwefelsäure versehene Zink-Kohlenelemente.

Auch die genaue Einstellung der Gabel soll weiter keine Schwierigkeiten bieten. Um den Contact zwischen dem Platindrahte vollkommener und gleichmässiger herstellen zu können, hat Valentin die entsprechenden Stellen derselben mit Platinspitzen versehen; wie denn überhaupt Valentin bei seinen Schlüsseln, Wippen u. s. w. immer Punktcontacte den Flächencontacten vorzieht.

Die Extraströme werden von diesem Elektromotor durch die Klemmen 3 und 4 abgeleitet.

Zur Herstellung der Gleichmässigkeit der Schliessungs- und Oeffnungsschläge auf die von Valentin geübte Weise, nämlich mittelst Durchleitung zweier Ströme durch die Hauptrolle, eines constanten und eines unterbrochenen, werden die Klemmen 3 und 4 mit dem Kreise des ersten, 1 und 2 mit dem des zweiten dieser Ströme verbunden.[1])

Im Eingange dieses Paragraphen ist der Nutzen der Schlitteneinrichtung in den Inductionsapparaten bei ihren physiologischen Verwendungen hervorgehoben worden; der Schlitten gestattet durch verschiedene Entfernungen der Nebenrollen von der Hauptrolle, die angewandte Stromstärke beliebig zu variiren.

Bei den physiologischen Versuchen, wo es nur darauf ankommt, die Reizstärke empirisch zu finden, welche für die Erzeugung gewünschter Effecte im thierischen Organismus erforderlich ist, reicht diese Schlitteneinrichtung meistens aus. Nicht so, wenn es sich darum handelt, den Nerv oder den Muskel Reizstärken zu unterwerfen, die in gewissen bekannten Verhältnissen zu einander stehen. Da die Stärken der inducirten Ströme bei Annäherung der Rollen an einander nicht gleichmässig zunehmen, so hat das Verschieben der Nebenrolle um eine gewisse Länge ganz verschiedene Bedeutung, je nach den Stellen des Schlittens, an welchen diese Verschiebungen stattfinden. Es ist daher nothwendig, jeden Schlittenelektromotor zu graduiren, wenn man einander vergleichbare Stromesstärken anwenden will.

Eine solche Graduirung könnte in doppelter Weise ausgeführt werden: entweder man giebt den Rollen einen gewissen Abstand von einander und variirt nur mittelst eines als Nebenschliessung in den primären Kreis eingeführten Rheochordes die Stärke des Hauptstroms, oder man bestimmt mittelst einer Bussole

---

1) Bernstein suchte die physiologische Wirkung des Anfang- und Endstroms dadurch auszugleichen, dass er zur Hauptrolle eine dauernde Nebenschliessung anbrachte, deren Widerstand verschwindend ist gegen den der Leitung, welche die Kette und die Unterbrechungsstelle enthält. Beide Ströme finden dann zwischen den Enden der Rolle gleichen Widerstand und nehmen denselben Verlauf. Früher benutzte er als solche Nebenschliessung Kupferplatten in schwefelsaurer Kupferoxydlösung oder eine Säule aus 6—8 kleinen Grove'schen Elementen. Jetzt verwendet er dazu einen, mehrere Fuss langen, in Zickzack gebogenen Kupferdraht. Bernstein betrachtet die Gleichheit der negativen Schwankung bei beiden Richtungen des Inductionschstroms als Beweis, dass der Verlauf beider Ströme gleich gemacht worden ist. Du Bois hält diesen Beweis aus mehreren Gründen für nicht ausreichend. Bei Einführung einer sehr schwachen Nebenleitung hat du Bois doch keine Gleichheit der Zuckungen beim Oeffnungs- und Schliessungsschlag erhalten können.

nach einer passend gewählten Einheit die Zunahmen der Stärke des inducirten Stromes bei den verschiedenen Abständen der beiden Rollen von einander.

Pflüger erwähnt beiläufig die erste dieser Graduationsweisen, die in letzterer Zeit von mehreren Physiologen zur Anwendung gekommen ist.

Preyer wendete dies Verfahren bei seinen Versuchen über das myophysische Gesetz an, Luchsinger bei seiner Discussion mit Preyer, und in letzterer Zeit hat Rollett die Zulässigkeit dieses Verfahrens geprüft.

Als einzigen Mangel dieses Verfahrens findet Preyer, dass bei Veränderung der Rheostatenlängen im primären Kreis das Spiel des Hammers sich verändert. Luchsinger hat diesen Fehler umgangen, indem er, anstatt tetanisirende Ströme zu verwenden, nur einzelne Inductionsschläge benutzt hat. Er hält aber diese Graduationsweise doch für nicht zuverlässig, und zwar weil er beobachtete, dass schon von einem gewissen niedrigen Werthe des Rheochordenwiderstandes ab die Intensität in der Hauptrolle bei weiterer Vergrösserung der Rheochordenwiderstände sich nur sehr wenig ändert.

Rollett bestreitet die Richtigkeit der Luchsinger'schen Deduction, giebt aber auch zu, dass über eine gewisse Grenze hinaus eine weitere Steigerung der Rheochordlängen ohne Einfluss auf die Intensität in der Nebenleitung ist. Diese Rollett'sche Grenze scheint aber schon bei sehr niedrigen Werthen der Rheochordlänge einzutreten, wenn man folgende Versuchsreihe von Valentin berücksichtigt, der auch die Einschaltung von Widerständen in den primären Kreis zur Abstufung der inducirten Ströme benutzt.

Bei Einschaltung eines Widerstandes von 5 S. E. war die Höhe der Tetanisationscurve = 14, bei 10 S. E. = 20, bei 50 = 22; von 100 bis 4000 S. E. bleibt die Höhe immer auf 22, um bei 50 S. E. auf 21, bei 10 auf 18,5 zu fallen.

Luchsinger scheint also in dieser Richtung mit seiner Behauptung das Richtige erkannt zu haben.

(Um die Schwankungen der Schwingungszahl des Unterbrechers bei der Abschwächung des primären Stromes zu vermeiden, schlägt Rollett ganz zweckmässig vor, den Unterbrecher [1]) durch eine zweite Stromquelle in Bewegung zu setzen, die von der für die Hauptrolle unabhängig ist.)

Die in Rede stehende Graduationsweise leidet aber noch an einem anderen Mangel, der diesen Beobachtern entgangen zu sein scheint. Bei Einführung einer Nebenschliessung wird nämlich das Verhältniss der Stärke des Oeffnungsschlages zu der des Schliessungsschlages, wie oben nach den Deductionen von du Bois mitgetheilt wurde, sich beträchtlich ändern. Wird die Grösse dieses Nebenwiderstandes variirt, so werden die Variationen des Schliessungs- und des Oeffnungsschlages nicht in gleichem Maasse stattfinden.[2]) Die physiologische Wirksamkeit dieser beiden Ströme wird sich also bei Veränderung der Rheochordenlänge in einem nicht

1) Zu dem Zwecke hat Rollett den Halske'schen Interruptor in einer Weise modificirt, die an der betreffenden Stelle nachzusehen ist.

2) Das Nähere leuchtet ein bei weiterer Verfolgung der du Bois'schen Deduction (l. c. p. 391 und folgende). Pflüger hat die Graduationsweise im Jahre 1859 empfohlen.

gleichem Grade verändern. Eine genaue Graduirung mittelst des Rheostaten ist daher bei Anwendung von Wechselströmen ganz unmöglich.

Von allen diesen Mängeln ist die zweite der oben erwähnten Graduirungsmethoden, welche Fick bei seiner Untersuchung über die elektrische Nervenreizung zuerst ausgeführt hat, vollständig frei.

Das von Fick dabei benutzte Verfahren ist später von A. B. Meyer beschrieben worden.

Die Graduirung wurde mit Hilfe einer Meissner'schen Spiegelbussole ausgeführt. Zuerst wurde mit dem Abstand der Nebenrolle auf 10 Ctm. von der Hauptrolle begonnen und die Stärke des inducirten Stromes durch die Grösse des Ablenkungswinkels des Spiegels abgelesen.

Sodann wurde die Nebenrolle der Hauptrolle immer um einen Centimeter näher gerückt, bis zum vollständigen Aufschieben der einen Rolle auf die andere, und jedesmal die Ablenkung beobachtet. Darauf wurde, um genügend starke Ablenkungen auch für die Entfernung der beiden Nebenrollen, welche mehr als 10 Ctm. betrugen, zu erhalten, die Astasie der Bussole entsprechend verändert.

Damit die Möglichkeit bleibt, die Grösse der Ablenkungen bei den verschiedenen Graden der Astasie auf einander zu reduciren, wurden auch bei dem neuen Zustande der Astasie mehrere Ablesungen bei ähnlichen Abständen, wie die früheren, gemacht.[1]) Nach dem Verhältnisse der in beiden Reihen erhaltenen gleichen Factoren wurden dann die Zahlen der einen Reihe auf die der anderen reducirt.

Die so erhaltenen Werthe wurden zur Construction einer Curve verwendet, deren Abscisse die Rollenabstände in Centimetern ausdrückte, während die Ordinaten die jedem Abstande zugehörige Stromesstärke zeigten.

Durch graphische Interpolation wurden für die Stromesstärken, welche nach einem bestimmten Modus steigenden Zahlen entsprechen, die zugehörigen Rollenabstände gefunden und auf dem Schlitten die jedem Abstand entsprechende Stromesstärke aufgetragen.

Diese Fick'sche Methode ist später in einer sinnreichen und sehr zweckmässigen Weise von Kronecker modificirt worden. Sie gestattet die Ablenkungen bei allen Abständen der Rollen von einander mit gleicher Genauigkeit und bei demselben Grade von Astasie zu machen; sie erspart also das Reduciren der Ablenkungen.

Kronecker erreicht dies dadurch, dass er denselben Strom in entgegengesetzter Richtung zwei Hauptrollen von zwei Inductionsapparaten durchfliessen lässt und so bei gewissen Stellungen der secundären Rollen ihre Wirkungen auf das Galvanometer compensirt.

Näher besteht das Kronecker'sche Verfahren in Folgendem:

Zwei Inductionsapparate werden in passender Entfernung vom Galvanometer aufgestellt um deren Wirkungen per Vistanz unmöglich zu machen. (Gestatten die Räumlichkeiten eine solche Aufstellung nicht, so compensirt man auf die gleich

---

1) Bei dem einen Zustande der Astasie wurden die Abstände 10, 9, 8. 7 ..... Ctm. gewählt, beim zweiten die Abstände 8, 9, 10, 11, 12 ..... Ctm.

anzugebende Weise diese Wirkung). Der Strom von einem oder zwei Grove's wird durch die beiden Hauptrollen in entgegengesetzter Richtung durch die Klemmen, welche zur Ableitung des Extracurrents dienen, geführt. Da die Windungen nicht in allen Hauptrollen dieselbe Richtung haben, so muss man zuerst die eine Rolle einführen und die bleibende Ablenkung des Spiegels ablesen, sodann auch die zweite in einer beliebigen Richtung einschalten und nun sehen, ob die Ablenkung verstärkt oder vermindert wird. Wird sie vermindert, so durchfliesst der Strom die Spiralen in entgegengesetzter Richtung. Die Enden der Nebenrollen werden dabei mit dem Galvanometer verbunden und zwar in der Weise, dass der Pol der einen Rolle mit dem einen Ende des Galvanometers verbunden wird, während die andere Klemme derselben Rolle mit dem gleichnamigen Pol der anderen Rolle durch einen Draht verknüpft ist. Der zweite Pol der zweiten Rolle wird zu dem anderen Ende des Galvanometers geleitet. Sowohl in dem primären, als in dem secundären Kreise sind Quecksilberschlüssel und Stromwender eingeschaltet. [1])

Da die beiden Inductionsapparate nicht ganz gleiche Zahl von Windungen haben, so werden ihre Ströme in der Wirkung auf die Bussole bei gleichem Abstande der Nebenrollen von den Hauptrollen sich nicht ganz compensiren; man wird also einen Ausschlag der Nadel zu Gunsten des stärkeren Apparates bekommen. Man beginnt nun die Ablesungen der Nadelablenkungen bei vollem Aufeinanderschieben der Nebenrollen auf die Hauptrollen. Nehmen wir an, man bekomme dabei eine Ablenkung der Nadel gleich n Theilstrichen der Millimeterscala. Jetzt entfernt man die Nebenrolle des stärkeren Apparates soweit von ihrer Hauptrolle, bis die Nadel auf ihren Nullpunkt zurückkehrt.

Die dazu erforderliche Entfernung der Nebenrolle sei gleich K Centimetern. Durch gröbere Verschiebungen der beiden Nebenrollen wird nun bestimmt, wie viel mal solche Unterschiede in den Abständen der beiden Nebenrollen von ihren Hauptrollen (= K Centimetern) auf dem Schlitten der Apparate erhalten werden können, von der Stellung an gerechnet, von welcher die erste schwächste Ablenkung überhaupt erhalten wird; sei dies m Mal. Dann wird $m \,.\, n$ die Zahl der Theilungen geben, welche dem Stande der Nebenrolle entspricht, wenn sie ganz über die Hauptrolle geschoben ist.

Mit Hilfe der beiden Werthe n und m wählt man die geeignetste Grösse der Ablenkung, welche man als Einheit bei der Graduirung annehmen will.

Aus Gründen, von denen gleich unten die Rede sein wird, ist es nämlich vortheilhaft, die Stärke des Stromes beim vollen Uebereinanderschieben der beiden Rollen bei den grössten Inductionsapparaten (von 11000 Windungen) gleich 1000 Einheiten zu nehmen. Da die Zahl der Ablenkungen für Tausend Einheiten gleich $m \,.\, n$ ist, so ist für eine Einheit die Ablenkungsgrösse gleich $\frac{m \,.\, n}{1000}$. [2]) Selbst-

1) Da die Ströme in den beiden Nebenrollen dabei entgegengesetzt gerichtet sind, so sind die Pole gleichnamig, welche von den nicht symmetrischen Endklemmen der Rolle abgeleitet werden. In der Nebenrolle haben die Windungen auch nicht immer dieselbe Richtung; man erkennt dies auf dieselbe Weise wie bei der primären Rolle.

2) Ist z. B. $n = 60$ Ctm., $m = 10$, so hat man für jede Einheit eine Ablenkung von $^6/_{10}$ Ctm.; man graduirt dann den Inductionsapparat nach 10 solchen Einheiten, d. h. man verschiebt jedesmal die eine Nebenrolle, bis man einen Ausschlag von 6 Ctm. bekommt, und compensirt dann diesen Ausschlag durch Verschieben der anderen Nebenrolle.

verständlich gilt die Grösse nur für einen gewissen Abstand der Bussole von der Scala, und für einen gewissen Grad der Astasie der Nadel. Am besten ist, man astasirt die Nadel bis ihre Schwingungen ganz aperiodisch ($\varepsilon = n$) sind.

Hat man in der Weise die passendste Einheit bestimmt, so schreitet man zur eigentlichen Graduirung. Dies wird von der Stellung beim vollen Uebereinanderschieben der Rollen begonnen; der Stellung, die also $m \,.\, n$ Ablenkungen repräsentirt. Darauf wird die Nebenrolle allmählich von der Hauptrolle entfernt, bis die erwähnte Ablenkungsgrösse eintritt; die ihr entsprechende Einheitenzahl wird auf dem Schlitten aufgetragen. Sodann sucht man die beobachtete Ablenkung durch Nachschieben der Nebenrolle des schwächeren Apparates zu compensiren und trägt die entsprechende Einheitenzahl auch auf diesen Schlitten auf. Auf diese Weise wird zu dem Punkte vorgeschritten, bis man zur Ablenkung, die einer Einheit entspricht, gelangt.

Es ist oben der Rath ertheilt worden, die Stellung bei übereinandergeschobenen Rollen, bei annähernd 11000 Windungen, als die von 1000 Einheiten anzunehmen. Dies geschah, weil es höchst wünschenswerth erscheint, dass verschiedene Beobachter wenigstens annähernd gleich eingetheilte Inductionsapparate besitzen sollen. Nur so wird es möglich sein, statt der nichtssagenden Angaben: „die Reizung geschah bei so viel und so viel Abstand der Rollen von einander", wirklich vergleichbare Reizstärken in den physiologischen Schriften einzuführen. Wenn also die Vereinbarung einer gleichmässigen Graduirung als sehr wünschenswerth zu bezeichnen ist, so ist es dabei rathsam, diejenige Eintheilung zu bevorzugen, welche bis jetzt die verbreitetste ist.

Kronecker hat nämlich mehrere Inductionsapparate schon graduirt, bei welchen der stärkste mit etwa 11000 Windungen als Norm angenommen worden ist; die Stromstärke, welche dieser beim Uebereinanderschieben seiner beiden Rollen gab, wurde als gleich 1000 Einheiten angenommen. Die anderen Inductionsapparate waren von geringerer Windungenzahl. Mehrere von Kronecker graduirte Apparate sind schon in einigen deutschen Laboratorien verbreitet. Es ist daher zu empfehlen, bei neuen Graduirungen annähernd von denselben Zahlen auszugehen. Im Vergleich zu diesem gab bei übereinandergeschobenen Rollen ein Inductionsapparat von 10,460 Windungen 900 Einheiten, von 10,243 W. = 875 E., von 9183 W. = 770 E., von 5361 W. = 440 E. und von 4318 W. = 328 E. Mit Hilfe dieser vergleichenden Zahlen kann man bei bekannter Zahl der Windungen eine annähernd entsprechende Zahl der Einheiten für die übereinandergeschobenen Rollen finden, um danach auf die angegebene Weise den Apparat zu graduiren. Es wäre noch wünschenswerther, die Instrumentenmacher zu bewegen, dass sie nur Apparate von bestimmter Wirkungsstärke anfertigen. Dann würde der Vergleich noch vollkommener und leichter sein.

Ist man schon im Besitze eines graduirten Apparates, so ist nach dem Vorhergehenden die Graduirung neuer Apparate eine Leichtigkeit.

Die Graduirung muss bei Entfernung der Drähte aus der primären Rolle geschehen, da sonst deren Verschiebungen durch den in ihnen erzeugten Magnetismus jede Graduirung illusorisch machen.

Die Graduirungsscala bringt man am besten provisorisch durch Einschnitte

an der Wand des Schlittens an, und später an einer Messingplatte, die man dem Schlitten entlang befestigt.

Um kleine Verschiebungen der Rollen und genaue Ablesungen ihres Standes machen zu können, ist es vortheilhaft, eine Einrichtung zu treffen, die es gestattet, die Verschiebungen der Rolle mittelst einer Schraubenvorrichtung auszuführen. Man muss noch dafür sorgen, dass nach jeder Verschiebung eine selbstthätige Hemmung, z. B. ein Federhaken, die Rolle genau in der gewünschten Stellung festhält; weitere Verschiebungen dürfen nur nach Lösung dieser Hemmung möglich sein. Eine ähnliche Einrichtung hat Kronecker bei Schortmann in Leipzig anfertigen lassen.

Eine nachahmungswerthe Einrichtung der Krüger'schen Inductionsapparate besteht darin, dass auf den oberen Flächen der Schienen des Schlittens zwei Messingplatten angebracht sind, von denen die eine die Graduirungsscala trägt; jede von ihnen ist im constanten Contact mit dem einen Pol der Nebenrolle. Vorne am Ende des Schlittens besitzen diese Platten Schrauben zum Festklemmen der Drähte. Es hat dies den Vortheil, dass die Drähte beim Verschieben der Rolle nicht mitgezerrt werden. Müssen diese Pole mit je zwei Drähten verbunden werden, wie z. B. für die Nebenleitung beim Ablenken der einzelnen Schläge, so klemmt man an diese Schraube die Mitte eines längeren Drahtes, dessen zwei freie Enden dann zu den entsprechenden Leitungen benutzt werden.

Um die Aufzählung der beim physiologischen Gebrauch der Inductionsapparate nützlichen Vorrichtungen zu vollenden, ist noch das auf Taf. XXXIX Fig. 4 abgebildete Relais zu beschreiben.

Im Verlaufe des vorliegenden Paragraphen ist mehrmals der Mangelhaftigkeit der gewöhnlichen Unterbrechungsvorrichtungen an Inductionsapparaten Erwähnung gethan, wenn es auf einen genau gleichmässigen Contact bei der Unterbrechung oder Schliessung des primären Kreises ankommt. Der Wagner'sche Hammer ist in solchen Fällen ganz unbrauchbar, und man nimmt zu Unterbrechungsuhren seine Zuflucht. Nun aber ist einerseits die Durchleitung eines so starken Stromes, wie ihn die Speisung des Inductionsapparates bedarf, durch das Getriebe eines Uhrwerks für dasselbe sehr schädlich, andererseits steht der metallische Contact sogar in einem so sorgfältig gearbeiteten Uhrwerke, wie das auf Taf. XXXIX Fig. 1 abgebildete, immer an Genauigkeit dem des Quecksilbers nach. Das zuerst von Bowditch gebrauchte Relais wird zwischen dem Uhrwerk und dem Kreis der Hauptrolle eingeschaltet, um den eben erwähnten Mängeln abzuhelfen.

A und A^1 sind zwei Elektromagnete, zu denen der Strom durch die Klemmen a und a^1 zugeleitet wird. g ist ein Hebel, der bei h um ein Hypomochliongelenk[1], das ihn mit dem Magnet A^1 verbindet, beweglich ist. Der Hebel ist nach dem Beispiele einer anderweitig von Siemens gemachten Einrichtung zum sichereren Anziehen an den Elektromagnet aus weichem Eisen gearbeitet.

Dem Hebel entlang läuft der dicke Kupferdraht f, welcher mit einem nach unten gebogenen Fortsatz in das Quecksilber taucht, das den Eisennapf i füllt.

---

1) A' trägt einen runden Fortsatz, der von dem Hebel g ringförmig umfasst wird. Zwei Schräubchen, welche von vorne nach hinten (von der Figur aus gesehen) den Hebel und diesen Fortsatz durchsetzen, bilden die Achse, um welche der Hebel bewegt wird.

Das andere Ende des Drahtes steht mit dem Stäbchen *e* in Verbindung, dessen untere verquickte Spitze in den Capillarcontact *d* (s. §. II) eingetaucht werden kann. Dieser Stab kann in der Schraube beliebig hoch oder tief gestellt werden. Der aus dem Capillarcontacte *d* gehende Draht *k* verknüpft ihn leitend mit der Klemme *e*. Der Eisennapf *i* ist gleichfalls mit der Klemmschraube *b* verbunden. Die Säule b^1 sowie die Spiralfeder dienen dazu, um die Excursionen des Hebels zu reguliren.[1])

Der Apparat wird so eingestellt, dass das gebogene Ende des Drahtes *f* in constantem Contacte mit dem Quecksilber des Näpfchens *i* verbleibt.

Wird die Unterbrechungsuhr in den Kreis eines ganz schwachen Elements mittelst der Klemmen *a* und *a'* eingeschaltet, welcher von einen Uhrwerk unterbrochen wird, so wird bei jedem Schluss des Kreises der Hebel *f* an den Elektromagnet *A* angezogen, wobei *e d* in den Capillarcontact eingetaucht wird. Ist gleichzeitig *c* und *b* in den Kreis einer von einer starken Kette gespeisten Hauptrolle eingeschaltet, so wird bei jedem Eintauchen von *e* in das Quecksilber der Strom in der Hauptrolle geschlossen bei jedem Austreten dieser Spitze *e* (durch Verschwinden das Magnetismus in *A*) der Strom geöffnet.

Auf diese Weise erzielt man gleichmässige und ganz genaue Schliessungen und Oeffnungen des primären Kreises, welche ganz unabhängig von der Genauigkeit der Contacte in der Unterbrechungsuhr sind, und schützt gleichzeitig dieses letztere vor zu starken Strömen. Ist das Relais sorgfältig gearbeitet, so wird es 6—10 Unterbrechungen in der Secunde noch genau vollführen können.

Zum Schlusse noch einige Anweisungen über den Gebrauch des Inductionsapparates.

Wird der Inductionsapparat bei gewöhnlichen Versuchszwecken verwendet, wo es auf die Constanz der Reizstärke nicht ankommt, so ist es am bequemsten, zur Speisung der Hauptrolle ein Grenet'sches Element (Taf. XI Fig. 4 G^1) zu benutzen, das man jeden Augenblick durch Hinunterschieben der Zinkplatte in Thätigkeit setzen kann.

Es ist ferner vortheilhaft, die Pole der Kette immer mit den gleichen Klemmschrauben des Inductionsapparates zu verbinden. (Die betreffenden Klemmen sind zu diesem Zweck mit den Buchstaben *K* und *Z* versehen). Thut man dies, so kann man auch ein für alle Mal feststellen, welcher Pol der secundären Rolle bei dieser Richtung des Stromes in der Hauptrolle bei der Schliessung positiv, bei der Oeffnung negativ und welcher das Umgekehrte wird.

Dies zu wissen ist von Belang, wenn man Schläge in bestimmter Richtung durch die thierischen Theile durchlassen will.

Man erkennt die Stellung der Pole am einfachsten mittelst der Jodkaliumelektrolyse. Die zwei Pole der secundären Spirale werden mit Platindrähten verbunden, die man in ein Stückchen Fliesspapier einsticht, das mit Jodkalium und Stärkekleister durchtränkt ist. Am positiven Pol erscheint ein blauer Streifen beim Unterbrechen des Stromes.

Will man die Richtung des inducirten Stromes umwenden, so schaltet man einen der oben beschriebenen Stromwender im Kreise ein.

1) Das Relais ist von Schortmann in Leipzig construirt worden.

Zweite Abtheilung.
Anordnungen der Versuche.

§. VII. Methoden zur Beobachtung der elektromotorischen Kräfte der Nerven und Muskeln.

Es giebt kein Gebiet der physiologischen Forschung, wo der Erfolg des anzustellenden Versuches in so hohem Grade von der Sorgfalt abhängt, welche der Beobachter auf seine saubere Ausführung verwendet, als das Gebiet der elektrophysiologischen Erscheinungen. Nirgends hat aber auch der Beobachter die hohe Genugthuung, scheinbar so capriciöse Erscheinungen mit solcher Gesetzmässigkeit beherrschen zu können, wie hier. Kein Organ offenbart mit grösserer Regelmässigkeit die ihm eignen Thätigkeiten wie der Nerv oder der Muskel die ihnen innewohnenden elektromotorischen Kräfte. Trotz ihrer Geringfügigkeit sind wir mit derselben Sicherheit im Stande, die feinsten Schwankungen an ihnen zu beobachten und hervorzurufen, wie der Chemiker durch Erwärmung und Mischung verschiedener Körper irgend eine ganz grobe Reaction erzeugt.

Die Mittel, das schwierige Gebiet der elektromotorischen Erscheinungen mit der grössten Exactheit erforschen zu können, verdanken wir hauptsächlich dem unermüdlichen Schöpfungsgeiste von du Bois-Reymond. Um aber diese Mittel mit Erfolg verwenden zu können, dazu gehört eine Sorgfalt und eine pedantische Genauigkeit im Arbeiten, die besonders erlernt und erworben werden muss. Die Gewandtheit in Beherrschung der elektro-physiologischen Methoden ist aber auch der sicherste Prüfstein für die Befähigung eines physiologischen Beobachters zu streng exacten Untersuchungen.

Die meisten der in den vorigen Paragraphen beschriebenen Apparate gehören zu den feinsten und genauesten, welche die Physik überhaupt besitzt. Je exacter und genauer ein Instrument aber gearbeitet ist, um so leichter läuft es Gefahr, durch die geringste Nachlässigkeit bei seiner Handhabung geschädigt und unbrauchbar zu werden. Die meisten dieser Apparate, welche aus den Werkstätten von Sauerwald, Siemens und Halske, Baltzar und Schmidt und Anderen hervorgehen, sind wahrhafte Meisterwerke, welche auch als solche behandelt werden müssen.

Aber nicht nur die Präcisionsinstrumente allein bedürfen solcher Sorgfalt; auch die geringfügigsten Instrumente, welche bei elektrophysiologischen Versuchen zur Verwendung kommen, erheischen das Nämliche. Der Arbeitstisch, die Glaskammer, die Zuleitungsgefässe, die Elektroden, ja sogar die Pincetten und Scheeren müssen mit der grössten Genauigkeit überwacht und sauber gehalten werden.

Lassen es die Räumlichkeiten der Laboratoriums nur irgenwie zu, so benutzt man für elektrophysiologische Versuche ein gesondertes Zimmer, das zu Nichts weiter gebraucht wird. Der geräumige überfirnisste Arbeitstisch wird entweder in der Nähe der Multiplicatorconsole oder des Fernrohrstativs [1]) aufgestellt. Präpara-

1) Zum Aufstellen des Fernrohrs bedient man sich am geeignetsten der von den Photographen benutzten Tische mit Schraubenvorrichtungen.

tionen thierischer Theile macht man auf reinen Glas- oder Porzellanplatten. Metallene Instrumente werden nur benutzt, wo sie unvermeidlich sind, sonst bedient man sich zur Manipulation an dem Nerv und Muskel am besten feiner Glasstäbchen, Pincetten mit Elfenbeinspitzen u. s. w.

Die Zuleitungsgefässe, welche den thierischen Theil mit dem Galvanometer verbinden, werden am zweckmässigsten auf einem kleinen Tischchen mit kurzen Beinen, das auf dem Arbeitstisch bequem Platz findet, aufgestellt. Das Grundbrett dieses Tischchens ist an mehreren Stellen zum Durchlassen der Leitungsdrähte durchbohrt. An den Rändern versieht man es mit flachen Rinnen zur Aufnahme eines Glaskastens, der die Vorrichtungen sammt den thierischen Theilen vor Verdunstung, Verunreinigung etc. schützen soll. Solche Glaskasten stellt man aus Spiegelglaswänden, die in Holzleisten eingelassen sind, her; wünschenswerth ist es, die eine Wand aus einigen in Leisten auseinanderzuschiebenden Glasplatten zu machen, damit man nach Bedarf mit der einen oder mit beiden Händen in den feucht erhaltenen Raum eindringen und manipuliren kann. Der Raum im Glaskasten muss nämlich immer mit Wasserdämpfen versehen sein. Man klebt zu diesem Zwecke an seinem Boden und Seitenwänden Fliesspapierstreifen an, die man feucht erhält, stellt flache Gefässe mit Wasser auf das Grundbrett u. s. w. Eine sehr zweckmässige Einrichtung zur Erhaltung der feuchten Kammer habe ich bei Fick gefunden. Durch ein Loch am oberen Rande einer Seitenwand ist ein Glasrohr eingelassen, das einem ausserhalb des Glaskastens befindlichen gewöhnlichen Pulverisator mit Kautschukballon angehört. Von Zeit zu Zeit wird mit diesem Wasser enthaltenden Ballon der ganze Raum im Glaskasten mit Wasserdämpfen gefüllt, Das Dach des Glaskastens verbindet man am zweckmässigsten mit über Rollen laufenden Schnüren, die es gestatten, den Glaskasten in die Höhe zu heben, wenn an den Zuleitungsgefässen oder dem darauf liegenden thierischen Theile manipulirt werden soll.

Vor der schönen Entdeckung Jules Regnauld's, dass Platten aus reinem, mehrmals destillirtem Zink in reine, neutrale schwefelsaure Zinkoxydlösung getaucht, von einer Concentration, bei der ihr Leitungsvermögen am höchsten ist, keine Polarisation geben, war die Herstellung passender Zuleitungsgefässe für die thierischen Theile die schwierigste und peinlichste Aufgabe des Elektrophysiologen. Bei der grossen Empfindlichkeit der zum Nachweis der elektromotorischen Kräfte der Nerven und Muskeln nöthigen stromprüfenden Instrumente genügte auch die geringste Ungleichartigkeit der metallischen Multiplicatorenden, um störende Ausschläge der Magnetnadel zu erhalten. Gelang es endlich, nach langwieriger Arbeit ein paar Platten aus Platin (man gab diesem den Vorzug, weil es am leichtesten rein zu erhalten ist) auszugleichen, so bestand die nächste viel mühseligere Aufgabe noch darin, zu verhüten, dass sie diese Gleichartigkeit bei Berührung mit den thierischen Theilen nicht wieder einbüssten. Dies gelang aber nie vollkommen, wenigstens nie auf längere Zeit. Die meisten Missgriffe der Elektrophysiologen waren daher durch die Schwierigkeit, gleichartige Zuleitungsgefässe herzustellen[1]), ver-

1) Die vollkommensten Zuleitungsgefässe vor der Entdeckung der unpolarisirbaren Elektroden waren noch die von du Bois. Zwei gleichartig gemachte Platinplatten wurden in Gefässe mit concentrirter Kochsalzlösung getaucht. Aus diesen Gefässen ragten mit derselben Flüssigkeit durchtränkte Bäusche aus Fliesspapier, die man durch Vermittlung feiner Eiweisshäutchen mit den thierischen Theilen in Berührung brachte.

ursacht. Wie auch das Bestreben, dieser Fehlerquelle Herr zu werden, die schwerste Geduldprobe der Forscher auf diesem Gebiete war.

Jules Regnauld verwendete zuerst die auf die oben erwähnte Weise zugerichteten Zinkplatten zur Herrichtung unpolarisirbarer Elektroden für die thierischen Theile. Er würdigte ganz richtig den grossen Fortschritt, der damit in der elektrophysiologischen Methodik erlangt war, indem er mit Hilfe dieser Zuleitungsgefässe es versuchte, die ersten Messungen der absoluten Stärke des Muskelstromes anzustellen.[1])

Einige Jahre nach Regnauld hat auch Matteucci Zuleitungsgefässe aus verquickten Zinkplatten hergestellt, die in neutrale gesättigte Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd tauchten, und ihre Unpolarisirbarkeit hervorgehoben. Es fehlte aber sowohl an genügenden Beweisen für die Unpolarisirbarkeit dieser Combination, wie auch an der Ermittelung der günstigsten Bedingungen, unter welchen eine solche Abwesenheit von Polarisation zu erhalten ist. Mit gewohnter Exactheit unterzog daher du Bois eine Reihe von Metallen (Platin in verdünnter Schwefelsäure, gesättigter Kochsalzlösung oder rauchender Salpetersäure, Silber in gesättigter salpetersaurer Silberoxydlösung, Kupferdraht in verdünnter Schwefelsäure, Kupferelektroden in schwefelsaurer Kupferoxydlösung, käufliches und reines Zink in Zinkoxydlösung) einer sorgfältigen Prüfung auf Polarisation und Ladungsfähigkeit. Er fand dabei, dass, während reines, durch wiederholte Destillation dargestelltes Zink in reiner schwefelsaurer Zinkoxydlösung noch störende positive Polarisation gab, ganz gewöhnliches käufliches Zink in käufliche Zinklösung getaucht, nicht polarisirbar war, wenn das Zink vorher mit Quecksilber verquickt wurde. Die positive Polarisation des unverquickten Zinkes hing nach du Bois von der Beimengung von Eisen ab, von welcher auch das reinste Zink nie ganz frei ist.

Nachdem so die merkwürdige Eigenschaft des verquickten Zinkes, keine Polarisation in schwefelsaurer Zinkoxydlösung zu geben, strenge bewiesen wurde, richtete du Bois passende Zuleitungsgefässe aus solchem Zink ein, welche sich vorzüglich für elektrophysiologische Versuche eignen. Auf Taf. IV Fig. 1 ist ein solches Zuleitungsgefäss abgebildet.

Auf der isolirten Platte *a* aus Kammmasse befindet sich das aus Zink gegossene Zuleitungsgefäss *c*. Innen und an den Rändern ist dies Gefäss verquickt und sodann aussen und an den Rändern mit Lack überzogen. Der auf der Zeichnung sichtbare Hals, ebenfalls von mit Lack überzogenem Zink, endet mit einem Knopf aus Hartgummi und dient als Griff, an dem das Gefäss gehandhabt wird. *b* ist eine Doppelklemme zur Aufnahme der Drähte.

In dieses Gefäss werden die Bäusche aus Fliesspapier getaucht. Diese Bäusche sind schon früher als Zwischenstücke zwischen den thierischen Theilen und den metallischen Enden des Multiplicators benützt worden. Man bereitet sie aus dichtem schwedischen Filtrirpapier, das man mehrere Mal zusammenlegt und dann unter dem Druck einer Presse nach Art eines Buches beschneidet. Es ist bequem, den zusammengelegten Papierbausch vorher zu durchfeuchten und in diesem Zu-

---

1) Die Messungen Regnauld's geschahen mit Hilfe eines entgegengesetzt im Multiplicatorkreise gerichteten Stromes einer thermo-elektrischen Kupfer-Wismuthkette, deren eine Löthstelle auf 0°, deren andere auf die gewünschte Temperatur gebracht wurde.

stande mit einer langen und breiten Klinge zu beschneiden. Der Druck der Presse, bezüglich die vorherige Durchfeuchtung hat zum Zweck, ein festes Haften der Blätter aneinander und so die Vermeidung von Luftblasenbildung zu erreichen. Der Rand eines solchen aus annähernd hundert Lagen bestehenden Bausches, welcher im Innern des Zinkgefässes zu liegen kommt, wird zusammengenäht, um das Aufblättern besonders während der Aufbewahrung zu verhindern. Die Bäusche werden mit concentrirter Lösung von reinem schwefelsauren Zinkvitriol durchtränkt und in das Gefäss so eingelegt, dass ihr vorderer Rand über die Karniese des Gefässes etwas hervorragt (siehe *a* Fig. 1). Die seitliche Verschiebung des Bausches verhüten die erhöhten Wangen des Gefässes. Um das feste Liegen des Bausches im Gefässe zu sichern, wird auf die hintere Hälfte desselben ein gewölbtes Plättchen aus Hartgummi (*f*) aufgelegt und mittelst eines Kautschukringes an das Gefäss befestigt (siehe Figur).

Das Zuleitungsgefäss wird mit derselben Flüssigkeit, welche die Bäusche durchtränkt, gefüllt. Man legt noch einige Krystalle des Zinkvitriols in dasselbe, um der Auskrystallisirung vorzubeugen und so die Concentration der Flüssigkeit zu erhalten. Trotzdem diese Zuleitungsgefässe an sich keine Polarisation geben, so ist es doch sicherer, wegen der in Folge irgend einer Verunreinigung möglichen Ungleichartigkeit, während der Zwischenpausen der Versuche auf die beiden Bäusche einen Schliessungsbausch aufzulegen. Dadurch wird entstehenden Ungleichartigkeiten die Möglichkeit gegeben, sich auszugleichen.

Die thierischen Theile dürfen natürlich nicht direct mit den Bäuschen in Berührung kommen. Früher benutzte man zum Schutz dieser Theile Stückchen Schweinsblase, welche man in Eiweiss aufweichte und einhüllte und dann auf die Bäusche auflegte. Diese Häutchen hatten aber mehrere Mängel, wie z. B. die Bildung von Luftblasen zwischen ihnen und den Bäuschen, wegen nicht genauen Anlegens, und, was noch störender war, ihr Widerstand wuchs stetig bei ihrem Gebrauche an. Als das Zwischenlegen von kleinen mit Kochsalzlösung getränkten Fliesspapierlagen zwischen sie und die Häutchen diesen Uebelstand nicht zu beseitigen vermochte, suchte du Bois nach einem passenden Ersatz. Er fand einen solchen im Modellirthon, auf den er schon bei den Studien über secundäre elektromotorische Erscheinungen und den secundären Widerstand feuchter poröser Leiter aufmerksam gemacht wurde.

Der Modellirthon besitzt nur eine sehr geringe innere Polarisation, nimmt keinen secundären Widerstand an und kann für Salzlösungen in den kurzen Fristen, in denen er zum Versuch verwendet wird, als undurchdringbar betrachtet werden. Seine grosse Schmiegsamkeit, sowie die Möglichkeit, ihn lange brauchbar zu erhalten, sind auch Vortheile, die bei seiner Wahl in Betracht gezogen worden sind. Man erhält den Thon immer in feuchtem Zustande, in welchem er sich leicht kneten lässt. Vor dem Versuche schneidet man aus einer einige Millimeter dicken Thonplatte Stückchen von etwa 20^{mm} Länge und 15^{mm} Breite, die man in ein- oder zweiprocentige Kochsalzlösung taucht. Man legt dieses Plättchen (*e*) auf den Bausch in der aus der Zeichnung verständlichen Weise auf.

Diesen Elektroden kann man auch eine beliebige andere Form geben, je nach der Gestaltung der Theile, von welchen der Strom abgeleitet werden soll, oder der Bequemlichkeit bei gewissen Anordnungen der übrigen zur Verwendung ge-

langenden Apparate. Besonderer Erwähnung bedarf die für die Ableitung der Ströme von ganz beschränkten Theilen erforderliche Einrichtung. Früher bildete du Bois-Reymond zu diesem Zwecke Spitzen aus mehreren Lagen Fliesspapier. Pflüger benutzte die besonderen, mit Eiweiss gefüllten, an einer Seite zugespitzten Glasröhren, die mit Korken verschlossen wurden. Den Eiweisselektroden wurde der Strom durch in Kupfervitriol getauchte Kupferdrähte zugeleitet. Czermak änderte diese Elektroden zweckmässig ab, indem er den Kupferdraht und den Kupfervitriol durch verquicktes Zink und Zinkvitriol ersetzte und sie auch etwas beweglicher machte.

Eine noch bequemere Form erhielten diese Elektroden in den du Bois'schen Thonstiefeln. Dieselben sind auf Taf. IV Fig. 2 abgebildet. Sie bestehen aus plattgedrückten Glasröhren *a*, die unten mit Thon *c* wasserdicht verschmiert werden; man giebt der Spitze des Thons die im gegebenen Falle erforderliche Form. Ein verquickter Streifen Zinkblech *b* ragt in diese Glasröhre und wird an ein Messingstück mittelst einer Schraube befestigt, das in die Kugel *e* des Kugelgelenkes[1]) übergeht. An dasselbe Messingstück ist ein an das Rohr *a* angeschmolzener Glasfortsatz *d* befestigt. Auf diese Weise kann mit Hilfe des Kugelscharnieres der Glasröhre, also auch der Thonspitze jede beliebige Stellung gegeben werden.

Die Befestigungsweise des Gelenkes durch den Arm *g* an die mit der Schraube *i* auf der Messingsäule *h* verstellbare Hülse ist aus der Zeichnung klar. Der Leitungsdraht *A* ist an das Messingstück bei *d* angelöthet; damit er keine Zerrung an dem Thonstiefel ausüben könne, ist der Draht über eine Elfenbeinschraube gewickelt, die an der Messinghülse angebracht ist. Die amalgamirte Zinkplatte darf nicht mit dem Thon in Berührung kommen. Obgleich dies schon durch ihre Feststellung an dem Messingstück mit Hilfe der Schraube verhütet wird, so thut man gut, vor dem Beschmieren des Thons noch ein Stückchen mit der Zinklösung getränkten Fliesspapiers in das untere Ende der Röhre einzuschieben. Dies gewährt noch den Vortheil, dass es die Diffusion der Zinklösung der Röhre mit der verdünnten Kochsalzlösung im Thone verzögert.

Die platte Form der Glasröhre wurde hauptsächlich deswegen gewählt, weil sie am bequemsten gestattet, mehrere solche Elektroden nebeneinander zu stellen, wenn die Thonspitzen an ganz nahe Punkte des thierischen Theils angelegt werden müssen. Man kann nämlich dieselben Elektroden auch benutzen, um dem thierischen Theile elektrische Ströme zuzuführen. Bei den Versuchen über die Wirkungen elektrischer Ströme auf den Nerv kommt man daher oft in den Fall, hier Ab- beziehlich Zuleitungen vom Nerv zu machen. Die Dimensionen der ganzen Einrichtung sind so gewählt, dass deren mehrere mit Bequemlichkeit noch unter dem Glaskasten in dem feuchten Raume Platz finden.

Von den nothwendigen Einrichtungen, welche bei Verbindung thierischer Theile mit dem Multiplicator noch zu treffen sind, ist besonders die Compensatorvorrichtung hervorzuheben, von der schon in § VI die Rede war. Die Einrichtung (Fig. 1 Taf. XXXVIII) dient vorerst dazu, um etwaige Ungleichartigkeiten, welche in

---

1) Durch ein Versehen beim Schneiden hat *e*, das den Durchschnitt der Kugel darstellen soll, mehr die Form eines Schraubenkopfes erhalten. Ein solches Kugelgelenk sieht man auf derselben Tafel in Fig. 6.

den Zuleitungsvorrichtungen etc. auftreten können, sofort durch Durchsendung eines entsprechenden Stromzweiges von einer constanten Stromquelle (am besten eines Daniell's) zu compensiren. Sodann benutzt man sie auch, um gröbere Vergleichungen elektromotorischer Kräfte anzustellen, z. B. bei Ableitungen des Stromes von Querschnitt und Längsschnitt des Muskels und der von zwei Punkten des Längsschnittes. Dies ist oft vortheilhaft, wenn trotz der Benutzung der einen Windungshälfte des Multiplicators der Ausschlag schon bei der schwächeren Ableitung die Nadel an die Hemmung zurückschleudert. Wo aber diese Compensation die vorzüglichen Dienste leistet, das ist, wie unten gezeigt wird, bei Beobachtung der negativen Stromesschwankung.

Der dicke Kupferdraht $N S$ wird entweder auf einem besonderen Brett oder direct auf dem Tisch stark angespannt. Die bewegliche Drahtspirale r muss genau an $N S$ anliegen und beim Verschieben überall einen genauen federnden Contact bilden. Die Verbindungen sind aus der Zeichnung klar; in der Leitung zwischen N und dem Galvanometer M, da wo μ sich befindet, werden die beiden Zuleitungsgefässe eingeschaltet. Zwischen dem Zuleitungsgefässe, das dem Galvanometer am nächsten steht, und diesem letzteren wird ein Quecksilberschlüssel eingeschaltet. Ein gewöhnlicher Vorreiberschlüssel befindet sich zwischen Wippe G und dem Drahte N, um nach Belieben den Strom des Elements im Kreis ein- oder auszuschalten. Wird das in § III beschriebene Ludwig'sche Quecksilberrheochord gebraucht, was für Vorlesungsversuche gewisse Vortheile bietet, so schaltet man es ganz auf dieselbe Weise ein.

Das zu elektrophysiologischen Versuchen fast ausschliesslich gebrauchte Thier ist der Frosch. Schon im ersten Capitel sind Aufbewahrungsmittel angegeben, um besonders für die hier in Betracht kommenden Versuche immer brauchbare kräftige Individuen zu haben. Ganz besondere Sorgfalt muss auf die Präparationsweise der zu Versuchen benutzten thierischen Theile verwendet werden. Da die hintere Extremität der fast ausschliesslich zur Verwendung kommende Theil des Frosches ist, so ist es unumgänglich nothwendig, sich durch mehrere Präparationen mit der Anatomie dieses Theils genau vertraut zu machen. Auf Taf. XXIV Fig. 6 und XLVIII Fig. 2 sind nach Ecker die Muskeln der hinteren Extremität des Frosches sowohl von der Rücken- als von der Bauchseite dargestellt. Die Bezeichnungen der Muskeln sind dieselben wie bei Ecker. Nur bei einigen ist die Abänderung von du Bois beigefügt worden.

Fig. 6 Taf. XXIV zeigt die Muskeln des linken Schenkels von Rana esculenta von der Rückenseite gesehen; d ist Musculus coccygeo-iliacus (du Bois nennt ihn Ileo-coccygeus); m ist der M. glutaeus, n = M. pyriformis; a (oberes) = M. rectus anterior; a' = M. vastus externus; a (unteres) = M. triceps femoris; l = M. rectus internus; e = M. semimembranosus; b = M. biceps femoris; g = M. gastrocnemius; h = dessen Kopf; ef = Achillessehne; k = M. peroneus; k' = M. tibialis ant.[1])

Fig. 2 Taf. XLVIII zeigt die Muskeln des linken Schenkels der Rana escu-

1) Nach Dugès heisst der M. glutaeus ex-ilio trochantérien, der Pyriformis (pyramidal Cuvier) = coccy-fémoral, der Triceps femoris = pelvi-femoro-rotulien, der Biceps = ileo-peronien, der Semimembranosus = sus-ischio-poplité.

lenta von der Bauchseite. *S* ist der Sartorius; *ad'* = M. adductor longus; *ad''* = M. adductor brevis; *ad'''* = M. adductor magnus; *ri'* = M. rectus internus major (Gracilis — du Bois); *ri''* = M. rectus intern. min. (Cutaneus — du Bois); *vi* = M. vastus int.; *ge* = Gastrocneminus; *ec* = M. extensor cruris; *ta* = M. tibialis anticus; *tp* = tibialis posticus; *ft* = M. flexor tarsi.[1])

Die Muskeln, welche zum Nachweise des Gesetzes des Muskelstromes des regelmässigen Verlaufs ihrer Fasern wegen sich besonders eignen, sind nach du Bois der Rectus internus (Cutaneus), der Sartorius (von Kühne bei seinen Untersuchungen über die Muskelirritabilität benutzt), der Adductor magnus (Gracilis) und der Semimembranosus. Wegen des ganz eigenthümlichen Verlaufs ihrer Fasern sind für diese Zwecke ganz ungeeignet der M. triceps und der Gastrocnemius.[2]) Dagegen wird der letztere zur Beobachtung der Neigungsströme sowie einiger parelektronomischen Erscheinungen verwendet. Als Nerv wird für elektrophysiologische Beobachtungen fast ausschliesslich der N. ischiadicus benutzt. Zum Nachweis des Stromes im Nerven mittelst des physiologischen Rheoskops (s. u.) bediente man sich früher des Galvani'schen Präparats, seit Matteucci und du Bois aber des stromprüfenden Froschschenkels (grenouille galvanoscopique von Matteucci). Das galvanische Präparat besteht aus den enthäuteten hinteren Extremitäten, welche nur durch ihre Nervenstämme mit einem Stück Wirbelsäule zusammenhängen. Der stromprüfende Froschschenkel (*A* Fig. 7 Taf. XXIV) besteht aus dem blossen Unterschenkel des Frosches, an dem der ganze Verlauf des N. ischiadicus von der Kniekehle bis zu dem Lendenwirbel erhalten ist. Die Präparation dieser Theile geschieht in folgender Weise. Man halbirt den Frosch, den man an den hinteren Extremitäten hält, zwischen den untersten Wirbeln, etwas oberhalb der punktirten Linien in der Fig. 7 Taf. XXI. Mit demselben Schnitt werden auch sämmtliche in der Beckenhöhle liegende Eingeweide entfernt. An dem Vordertheile des Frosches wird mit einem Stift das ganze Hirn zerstört. (Man führt diese Operation am besten über einem flachen Teller aus, entfernt von dem Präparationstische). Die an dem Anus festgewachsene Haut wird mit einem Scheerenschnitt abgetragen; darauf nimmt man das Wirbelstück zwischen den Zeigefinger und den Daumen der linken Hand, die Haut mit denselben Fingern der rechten Hand und zieht sie mit einem Zug von den Extremitäten ab. Das Froschpräparat wird darauf auf einer Glasplatte auf den Versuchstisch gebracht und die weitere Präparation beginnt.

Soll das Galvani'sche Präparat hergerichtet werden, so legt man das Froschstück auf die Rückseite auf; isolirt mit einem Finder die in der Beckenhöhle freiliegenden grossen Nervenstämme, führt unter sie das eine Blatt einer Scheere und entfernt die Beckenknochen mit zwei Schnitten, den einen gleich unterhalb des Ueberganges der Wirbel in das Ileum, den zweiten dicht oberhalb des Oberschenkels. Die Extremitäten hängen mit dem erhaltenen Wirbelstücke nur noch durch die Nervenstämme zusammen. Es ist zweckmässig, bei Vorbereitung des Gal-

1) Nach Dugès: Sartorius = sous-iléo-tibial; Rectus int. major = post-ischio-tibial profond; Rectus int. min. = post-ischio-tibial superficiel; Adductor longus = sous-ileo-fémoral; Adductor magnus = sous-ischio-pubi-fémoral. Rectus int. maj. (Ecker) = Adductor magnus (Cuvier).

2) Ueber den Bau des Gastrocnemius s. du Bois' Untersuchungen etc. II. Bd. II. Abtheil. 1. Liefer. S. 349—351, auch „Ueber das Gesetz d. Muskelstroms etc." Archiv etc. S. 9 u. f.

vani'schen Präparates den Halbirungsschnitt des Frosches etwas höher zu führen. (S. die gerade Linie oberhalb der punktirten in Fig. 7 Taf. XXI.) Das hintere Markstück wird in diesem Falle auch mit einem Stifte zerstört.

Soll der stromprüfende Froschschenkel hergerichtet werden, so halbirt man der Längsrichtung nach das auf die beschriebene Weise hergestellte Froschpräparat und zwar in der Weise, dass die Scheere durch die Beckenknochen in derjenigen Hälfte geführt wird, die nicht benutzt werden soll. Das Froschstück wird auf die Bauchseite gelegt und zuerst der N. ischiadicus dicht oberhalb der Kniekehle aufgesucht. Er liegt hier dicht unterhalb des M. biceps; um ihn zu finden, entfernt man diesen Muskel von dem M. semimembranosus (*b* und *e* Fig. 6 Taf. XXIV). Der Verlauf des Ischiadicus ist genau auf der Fig. 7 Taf. XXI durch die weisse Linie angedeutet. (In der Richtung dieser Linie wird auch der Hautschnitt geführt, wenn der Ischiadicus am unenthäuteten Frosche präparirt wird.) Das Blatt einer stärkeren Scheere wird zwischen Nerv und Oberschenkel geschoben und der letztere dicht oberhalb des Gelenks durchschnitten. Die Präparation des Nerven muss nach du Bois's Vorschrift von unten nach aufwärts fortschreitend ausgeführt werden, um die diesen Nerven mit den benachbarten Muskeln verbindenden Aestchen ohne jede Zerrung des Stammes auffinden und durchschneiden zu können. Um bei der Präparation den Nerv weder zu zerren noch mit den metallenen Instrumenten zu berühren, nehme ich ihn gewöhnlich mit der linken Hand auf einen feinen Glashaken, an dem er von unten nach aufwärts fortgleitet, während mit der rechten Hand die Nerven-Aestchen durchschnitten werden. Die Musculus semimembranosus einerseits und der Biceps und Triceps andererseits werden dabei entweder von einem Gehilfen oder durch Haken auseinandergehalten. Besondere Sorgfalt muss bei der Isolation der Uebergangsstelle des Nerven vom Oberschenkel auf die Beckenknochen beobachtet werden. Hier liegt der Nerv ziemlich tief und lässt sich nur wenig emporheben, da die zu den Oberschenkelmuskeln hier abgehenden Aeste ihn zurückhalten. Auf den Beckenknochen wird seine Präparation wieder leichter. Hier muss er nur von den Blutgefässen, die ihm als dunkel pigmentirte Stränge anhaften, befreit werden. Ist dies nicht ganz gelungen, während der Nerv noch mit den Weichtheilen des Beckens im Zusammenhange steht, so wird die Entfernung der Gefässe mit Leichtigkeit vollendet, wenn man den herauspräparirten Nerv auf eine Glasplatte auflegt. Als Beweis einer gelungenen Präparation kann es gelten, wenn während seiner Isolirung kein einziges Mal Zuckungen in den Muskeln des Unterschenkels eingetreten sind. Die Muskeln des Oberschenkels dürfen nur zucken bei Durchschneidung der zu ihnen tretenden Aeste.

Sollen nur die Muskeln des Oberschenkels zum Versuch herauspräparirt werden, so thut man besser, durch die Haut über dem Unterschenkel einen Kreisschnitt zu führen, sie dann durch einen Längsschnitt zu trennen und das den betreffenden Muskel bedeckende Hautstück sorgfältig abzuheben. Darauf kann erst der Rest der Haut auf die schon angegebene Weise entfernt werden. Mit Ausnahme des Semimembranosus liegen die oben aufgezählten Muskeln, die zum Nachweis des Gesetzes des Muskelstromes benutzt werden, auf der Bauchseite. Sie werden an den Befestigungsstellen durchtrennt und dann von den umliegenden Muskeln isolirt. Auch hier beginnt man die Isolation vom Knie an. Die ausgeschnittenen

Muskeln dürfen nirgends andere als ihre natürlichen intacten Längsoberflächen zeigen.

Das weitere Manipuliren an den so isolirten Nerven- und Muskelpräparaten darf schon nur mit Hilfe von Glasstäbchen und Messingpincetten mit elfenbeinernen Spitzen (wie man sie bei den chemischen Waagen benutzt) geschehen. Soll ein Nerven- oder Muskelstück abgeschnitten werden, z. B. zum Anlegen eines frischen Querschnitts, so geschieht dies, wenn sie dabei von den Zuleitungsgefässen nicht entfernt werden sollen, mittelst einer sehr scharfen Scheere; liegt der thierische Theil noch auf der Glas- oder Porzellanplatte, so macht man den Schnitt am besten mit Hilfe eines scharfen Scalpells; die Schnittführung muss mit einem Male gemacht und Zug und Druck passend vereinigt werden.

Schwieriger ist es, einzelne Muskeln mit den ihnen zugehörigen Nerven so sorgfältig herauszupräpariren, dass der Nerv ganz unversehrt bleibt. Am häufigsten werden der Gastrocnemius, der Sartorius und der Gracilis mit ihren Nerven isolirt. Die Präparation des Gastrocnemius wird so ausgeführt, dass zuerst der Ischiadicus in der beschriebenen Weise seiner ganzen Lage nach isolirt wird. Sodann durchschneidet man die Achillessehne, trennt den Gastrocnemius von den umliegenden Muskeln und gelangt so bis zu seinem Ansatz in der Kniekehle. Hier muss seine weitere Präparation sehr vorsichtig geschehen. Man hebt ihn an der Achillessehne etwas empor und, seinem leicht sichtbaren Nerv folgend, schreitet man allmählich zum Ischiadicusstamm vor. Dieser Stamm wird dann so hoch als möglich durchschnitten und nach unten über den Gastrocnemius geschlagen. Erst wenn der unversehrte Zusammenhang des Nerven mit diesem Muskel gesichert ist, trennt man den oberen Ansatz dieses letzteren vom Knochen.

Die Präparation des Gracilis und des Sartorius mit ihren Nerven ist viel mühseliger. Um den ersteren zu präpariren, verfährt du Bois folgendermaassen:

„1. Wie stets, wenn es um Darstellung von Oberschenkelmuskeln sich handelt, darf die Haut des Beines nicht ohne Weiteres abgezogen werden. Sie wird mit dem Cutaneus femoris, unter sorgfältiger Schonung des Gracilis, vom Becken nach dem Knie zu abgelöst, und dann erst vom Ober- und Unterschenkel abgestreift."

„2. Nach Durchschneidung der Mm. pyriformis und ilio-coccygeus wird der N. ischiadicus von oben und von unten her bis zur Stelle blossgelegt, wo die Oberschenkeläste abgehen. Die nicht zum Gracilis, Semitendinosus und Semimembranosus gehenden Zweige werden durchschnitten."

„3. Das knorpelige Hufeisen, welches den Semimembranosus an den Condylus tibiae heftet, wird abgelöst und der Semimembranosus nach hinten und zur Seite geschlagen. Die Nervenzweige zu ihm, dem Semitendinosus und Gracilis liegen nun, durch das Pigment der mit ihnen verlaufenden Blutgefässe kenntlich gemacht, klar vor den Augen. Der Semimembranosus wird von unten her bis zum Becken vorsichtig vom Gracilis getrennt, sein Nerv abgeschnitten."

„4. Der Ischiadicus wird in passender Entfernung unter dem Ursprunge der Zweige für Gracilis und Semitendinosus durchschnitten, sein Stamm in Verbindung mit jenen Aesten bis zum nah benachbarten Hilus beider Muskeln vollends frei gemacht, auf dem Hilus zu einem Päckchen zusammengefaltet, und so der Nerv in Sicherheit gebracht."

„5. Nun bringt man das Scheerenblatt unter die Sehne des Gracilis und

Semitendinosus, das stumpfe unter den Oberschenkel, und durchschneidet letzteren dicht über dem Knie; der Unterschenkel dient als Handhabe, während man den Gracilis aus seinen übrigen Verbindungen, besonders mit den Mm. adductor magnus und longus, bis zum Becken löst."

„6. Man durchschneidet die Sehnen, durch die der Semitendinosus an die Tibia, und die beiden Sehnen, durch die er an das Becken geheftet wird. Er löst sich alsdann leicht vom Gracilis, den man zwischen Becken und Unterschenkel sanft anspannt, und es hat keine Schwierigkeit mehr, seinen Nerven von dem des Gracilis zu unterscheiden und ohne Gefahr für letzteren zu beseitigen."

„7. Es bleibt übrig, die Knochenstücke zuzuschneiden und möglichst von Muskelstümpfen zu reinigen, was namentlich am Becken recht zeitraubend ist."

Die Präparationsmethode des Sartorius gehört Kühne; sie besteht in Folgendem:

„Nachdem die Schenkel des Frosches enthäutet sind, schneide man den Fuss im Gelenk ab, entferne sodann von dem Unterschenkel alle Muskeln und Weichtheile bis auf den sehnigen Ansatz des Sartorius. Hierauf durchsteche man mit einer spitzen Scheere das Kniegelenk, lasse die Sehne des Sartorius auf der stumpfen Seite des Scheerenblattes ruhen und durchschneide nun das ganze Gelenk, wodurch man eine knöcherne Handhabe des gewünschten Muskel gewinnt, mittelst welcher man denselben, ohne ihn zu berühren, in jede beliebige Lage bringen kann. Ist dies geschehen, so führe man ein Blatt einer anderen, vorn abgestumpften Scheere längs seiner äusseren Kante so unter den Muskel hin, dass man ihn durch einen einzigen Schnitt auf dieser Seite von seinem unteren Ansatze bis zu seinem oberen Ursprunge am Os ilium von seiner ganzen Unterlage abtrennt. Bis soweit hat die Präparation keine Schwierigkeiten; grössere Vorsicht muss dagegen angewendet werden, wo es sich um die Isolation des kleinen zarten Nerven handelt, welcher am inneren Rande in Begleitung einer Arterie und einer Vene in die untere Hälfte des Muskels eintritt. Man schneide daher den letzteren durch einen senkrecht auf die Richtung seiner Fasern geführten Schnitt hart am Os ilium ab, was leicht in der Art bewerkstelligt werden kann, dass nur die hier befindliche äusserst kurze Sehne durchschnitten wird, ohne dass ein einziges Primitivbündel dabei verletzt zu werden braucht. Indem man das Präparat nun umkehrt, kann man jetzt auch den inneren Rand des Muskels von allen Anheftungen befreien, mit alleiniger Schonung der Eintrittsstelle des Nerven; hierauf lege man das obere Muskelende durch Umbiegen an das untere Ende an und fasse das ganze Präparat bei dem Unterschenkelknochen, um so die Präparation des Nerven zu beginnen. Der Nerv des Sartorius trennt sich erst vom Stamme des Ischiadicus, wo dieser die Beckenhöhle verlässt, und bis hierher muss man ihn mindestens präpariren, um eine genügend lange Strecke für die Anstellung des Versuchs zu besitzen. Zu einer Isolirung genügt es, die Muskelgruppe der Adductoren vorsichtig auseinander zu zerren, wodurch man über seinen Verlauf vollständig orientirt sein wird, die bezeichneten Muskeln links um den Nerv herum abzuschneiden und hierauf denselben mit einigem Geschick aus seiner Umgebung von unten nach oben fortschreitend allmählich auszuschälen. Ist man bis zum Stamme des Ischiadicus vorgedrungen, so schneide man diesen in einem etwas höher gelegenen Punkte ab, fasse dann ein anderes unterhalb der Austrittsstelle unseres Nerven befindliches

Stück mit der Pincette und ziehe, nachdem auch dieses abgeschnitten, den Nerven damit aus seiner Umgebung heraus . . . .“

Die herauspräparirten Nerven und Muskeln müssen sorgfältig vor Vertrocknen durch Bespülen mit einer ein- bis zweiprocentigen Kochsalzlösung geschützt werden. Das Uebertragen und Auflegen auf die Zuleitungsgefässe geschieht mit Hilfe von feinen Glasstäbchen.

Als wichtiges Hilfsmittel zur Unterlage für die nicht in Berührung mit den Leitungsgefässen stehenden Theile, oder zum Verhüten solcher Berührungen, oder auch zum Befestigen des stromprüfenden Froschschenkes verwendet man schmale viereckige oder vorne zugespitzte Glasplatten, die in Holzarme eingekittet sind, welche durch mit Kugelgelenken versehene Messingfortsätze auf Stativen in beliebige Höhe und Stellung gebracht werden können, allgemeine Träger von du Bois. (S. Fig. 6 und 7 auf Taf. XLVIII für die Form der Spitzen, und Fig. 6 Taf. IV für das Stativ mit Kugelgelenk.)

Vor dem Aufbringen der thierischen Theile werden die Zuleitungsgefässe in den Galvanometerkreis eingeschaltet und die Stromlosigkeit der Leitung constatirt. Giebt die Magnetnadel einen kleinen Ausschlag, so ist derselbe mit Hilfe des Compensationsdrahts vorher zu compensiren. Die Richtung des Stromes in den Leitungen und im Galvanometer wird mit Zuhilfenahme der Ampère'schen Regel bestimmt. Man bedient sich dazu entweder der Durchleitung eines schwachen Stromes von bekannter Richtung, oder beobachtet, indem man an verschiedene Stellen des Leitungskreises oberhalb und unterhalb desselben eine gewöhnliche Magnetnadel nähert, den Sinn ihrer Ablenkung.

Den Strom mittelst des physiologischen Rheoskops zu beobachten, gelingt nur bei sehr frischen und sehr erregbaren Fröschen und zwar auch meistens nur bei Anlegung des Nerven des stromprüfenden Schenkels an den Längs- und Querschnitt eines Muskels. Nur bei sehr erregbaren Fröschen gelingt dies auch beim Anlegen des stromprüfenden Nerven auf den Längs- und Querschnitt eines anderen Nerven.

Viel eher gelingt es durch die von du Bois-Reymond angewandte Methode, den Nervenstrom zur Erzeugung einer Zuckung im eigenen Muskel zu bringen. Man legt den Muskel auf eine Glasunterlage, die am besten auf einem der erwähnten Träger befestigt wird.[1]) Damit der Unterschenkel bei seinen Zuckungen nicht heruntergleite, befestigt man ihn lose durch ein paar Fadenschlingen oder Kautschukringe. Das Hirnende des Nerven wird mit Querschnitt und Längsschnitt auf die Bäusche der unpolarisirbaren Zuleitungsgefässe aufgelegt. Die beiden Enden dieser Gefässe werden in Quecksilbernäpfe getaucht, die mit Hilfe eines Kupferbügels leitend verbunden werden können. Beim Hineinlegen dieses Bügels, seltener bei dessen Herausnahme zuckt der Schenkel.

Die Schnelligkeit, mit welcher das Oeffnen und Schliessen hier geschieht, ist der Hauptgrund, dass der Versuch leichter wie beim Umbiegen des Nerven gegen sich selber oder gegen andere Nerven geschieht.

Die Ausführungsweise der Versuche über die secundäre Zuckung ist in § IX angegeben.

---

1) Matteucci legt den stromprüfenden Froschschenkel bei Versuchen in ein gefirnisstes Glasrohr ein; dies ist für einige Fälle sehr zweckmässig.

§ IX. Methoden zur Beobachtung des Elektrotonus und der negativen Schwankung.

Zur Beobachtung der elektrotonischen Erscheinungen am Nerven werden für die Ableitung des Nervenstroms zum Multiplicator die im vorigen Paragraphen beschriebenen Zuleitungsgefässe und sonstigen Vorrichtungen gebraucht.

Zur Polarisation des Nerven benutzt man den Strom irgend einer constanten Kette, z. B. einer von 4—6 kleinen Grove's, wie die im § I dieses Capitels beschriebenen. Dieser Strom wird dem Nerven zugeführt mit Hilfe von Elektroden, die keine Polarisation geben; man benutzt also Einrichtungen wie die oben beschriebenen Thonstiefel. Nur für Vorlesungszwecke, wo der Strom den Nerven nur kurze Zeit durchfliesst, ist es gestattet, auch die früheren dazu von du Bois verwendeten Platinelektroden, welche auf Taf. IV. Fig. 6 sichtbar sind, zu verwenden. Sie bestehen aus zwei Platinstiefeln *f* und *f'*, die durch Messingdrähte mit den Klemmen *e* und *e'* verbunden sind.[1])

Man kann diese Platinspitzen in beliebiger Entfernung von einander einstellen, indem man ihre Drähte durch die auf der Zeichnung sichtbare Hülse mit Schraubenvorrichtung verschiebt. Der Messingarm *d* dieser Hülse steht durch ein Kugelgelenk in Verbindung mit dem Arme *c*. Dieser letztere ist in der herkömmlichen Weise auf dem Stativ *a* verstellbar.

Die Präparation des N. ischiadicus geschieht auf die im vorigen Paragraphen angegebene Weise. Es ist nothwendig, eine möglichst lange Strecke dieses Nerven zur Verfügung zu haben; man isolirt daher den Nerven von seiner Austrittsstelle aus dem Wirbelkanal bis zur Kniekehle. Bei Versuchen sowohl über Elektrotonus, als über die negative Stromesschwankung leitet man den Nervenstrom von der Strecke des Nerven ab, welche am Oberschenkel verläuft; der polarisirende Strom wird dabei dem Beckenstück des Nerven zugeleitet. Der Grund hiervon ist der, dass am Beckentheil der Ischiadicusstamm viele Fasern enthält, die zu den benachbarten Muskeln abgehen. Nur bei der besagten Ableitungsweise wird daher der Nervenstrom in allen abgeleiteten Fasern polarisirt; bei der entgegengesetzten Verbindungsweise würde dagegen der Strom von einer viel grösseren Anzahl Nervenfasern zum Multiplicator abgeleitet werden, als vom polarisirenden Strome getroffen werden könnte.

Im Kreise des polarisirenden Stromes wird ein Stromwender eingeschaltet. Von den oben beschriebenen eignen sich der Dujardin'sche und der Ruhmkorff'sche Stromwender besser als die Pohl'sche Wippe, weil sie gleichzeitig gestatten, den Nerv aus dem Strome ganz auszuschalten.

Man bezeichnet durch irgend welche Merkmale an den Zuleitungselektroden die Richtung des Stromes bei der jedesmaligen Stellung des Stromumschalters, damit man mit Leichtigkeit die gewünschte Richtung dem polarisirenden Strome geben kann.

Um irgend welche directe Wirkungen der Kette auf das Galvanometer auszuschliessen, werden nach Ampère's Vorschrift die Leitungsdrähte überall zusammen gewunden, um so die Wirkung des einen durch die des anderen Drahtes aufzuheben.

1) Durch einen Irrthum des Xylographen sind die beiden Stiefel *f* und *f'* unten vereinigt. Die Figg. 3 und 4 auf Taf. XLVIII zeigen die Form und das gegenseitige Verhältniss der beiden Platinstiefel.

Auf Taf. XLVIII zeigen die Fig. 3 und 4 die Art, wie der Nerv mit dem Paare Elektroden verbunden wird. Man leitet vom Nerven den Strom am besten vom Querschnitt und Längsschnitt ab, um so grössere elektrotonische Wirkungen zu erhalten. Figur 3 zeigt die Richtung des polarisirenden Stromes, um die positive Phase, Figur 4 die, um die negative Phase des Elektrotonus zu erzeugen. Um den Einfluss der Länge der polarisirenden Strecke auf die Stärke des Elektrotonus zu zeigen, braucht man nur die Platinstiefel von einander zu entfernen.

Ist man im Besitze zweier Galvanometer, so lässt sich auf eine sehr elegante Weise der durch die Figur 5 verdeutlichte Versuch von du Bois-Reymond anstellen, um den elektrotonischen Zustand auf beiden Seiten der polarisirten Strecke zu zeigen. Nur ganz grosse Frösche geben einen hinreichend langen Ischidiacus, um diesen Versuch anzuführen. Als besondere bei ihm nothwendige Vorsichtsmaassregel ist hervorzuheben, dass die beiden Galvanometer in genügender Entfernung von einander aufgestellt werden müssen, um jede Möglichkeit der gegenseitigen Einwirkung ihrer Magnete von vornherein auszuschliessen. Ebenso muss grosse Sorgfalt auf Isolirung der beiderseitigen Leitungen von einander und von der der polarisirenden Kette verwendet werden. Zuerst werden die Ablenkungen der Nadel bei offener Kette erhalten und dann schliesst man dieselbe in einer beliebigen Richtung durch eine Strecke des Nerven, die zwischen den beiden Ableitungsstellen liegt (siehe Fig. 5). Man sieht dann an dem einen Multiplicator die Ableitung der Nadel zu-, in dem anderen entsprechend abnehmen. Wendet man mit Hilfe des Umschalters die Stromrichtung um, so nimmt im Gegentheil in dem ersten die Nadelablenkung ab, in dem zweiten zu.

Für die Erläuterung der Natur des Elektrotonus ist es bei Demonstrationen manchmal vortheilhaft, dem polarisirenden Strom dieselbe Richtung zu lassen, während man denjenigen Bausch, welcher vorher mit dem Querschnitte verbunden war, jetzt mit dem Längsschnitte verbindet und umgekehrt. Um nicht den Nerv selbst dabei umlegen zu müssen, wechselt man einfach die Verbindungen des Multiplicatorkreises mit den Zuleitungsgefässen unter einander. Man beobachtet dabei aus leicht verständlichem Grunde ein Umkehren der Wirkung des polarisirenden Stromes, trotzdem seine Richtung zwischen den Zuleitungselektroden dieselbe geblieben ist. Dieser Versuch zeigt nämlich deutlich, dass die elektrotonischen Erscheinungen nicht Folgen des unmittelbaren Hereinbrechens des polarisirenden Stromes in den Multiplicatorkreis sind. Sonst müsste eine solche Umkehr in der Verbindung der Bäusche mit dem Querschnitte die Stellung der Nadel unverändert lassen.

Bekanntlich hat du Bois gezeigt, dass, wenn man die Bäusche, anstatt durch den Nerven durch einen anderen feuchten Leiter in den Multiplicatorkreis einschaltet, bei Durchleitung eines Stromes durch den einen Arm dieses Leiters die Richtung des abgeleiteten Stromarmes im Multiplicatorkreise bei gleicher Richtung des polarisirenden Stromes dieselbe bleibt, wenn man auch die Stelle des Kreises, wo die Verbindung stattfindet, ändert. (Untersuchungen Bd. II S. 40 u. f.)

Noch leichter und anschaulicher wird dasselbe bewiesen dadurch, dass man den Nerven des elektrotonischen Zustandes unfähig macht, indem man ihn zwischen den stromzuführenden Elektroden und den Ableitungsbäuschen unterbindet oder durchschneidet. Die Unterbindung geschieht mittelst eines feuchten Fadens, der also kein merkliches Hinderniss dem Uebergange des Stromes auf den Multiplicatorkreis

setzen kann. Schiebt man die unterbundene Nervenstelle zwischen den stromzuführenden Elektroden oder jenseits derselben, so erscheint der Elektrotonus von Neuem.

Die Durchschneidung wird mit einer scharfen befeuchteten Scheere gemacht, damit die Nervenstumpfe nicht an deren Blättern hängen bleiben, sondern in einiger Berührung mit einander verharren.

Um den secundären elektrotonischen Zustand zu zeigen, verbindet man die beiden Nerven mit einander und mit den Zuleitungsgefässen auf die aus den Figg. 6 und 7 der Taf. XLVIII verständliche Weise. Sind die Nerven einem frischen Frosche und durch sorgfältige Präparation entnommen, so beobachtet man am sehr empfindlichen Multiplicator den secundären Elektrotonus noch ganz deutlich. Diese Erscheinung ist sogar oft leichter zu beobachten, als die der secundären Zuckung.

In Figur 6 hat der polarisirende Strom im unmittelbar getroffenen Nerven dieselbe Richtung wie in der Figur 4; die Richtung der Polarisation in dem zweiten mittelbar erregten Nerven ist aber die entgegengesetzte als im unmittelbar erregten; dasselbe gilt für die Anordnung der Figur 7, die auch der von Figur 4, was die Richtung des Stromes im unmittelbar erregten Nerven betrifft, ähnlich, wo aber die Berührungsweise der beiden Nerven eine verschiedene ist. Der Grund, warum in dem mittelbar erregten Nerven die Polarisation die entgegengesetzte Richtung hat, wird bei Betrachtung der Versuchsanordnung in Figur 5 verständlich: die Phasen des Elektrotonus in den beiden Nerven verhalten sich complementär zu einander, ganz wie die Phasen an den beiden Enden desselben Nerven.

Versuche über die negative Schwankung, welche die elektromotorischen Kräfte der Nerven und Muskeln während ihres thätigen Zustandes erleiden; gehören zu den schwierigeren, aber auch zu den lehrreichsten der Elektrophysiologie. Wenn man durch Versäumung nothwendiger Vorsichtsmaassregeln hier leichter als anderswo zu irreführenden Beobachtungen gelangen kann, so gestatten dagegen die von du Bois und seinen Schülern, vorzugsweise aber von Bernstein, für das Studium der negativen Schwankung gegebenen Hilfsmittel eine ganz ausnahmsweise Präcision. Da diese Versuche für das Verständniss der Nervenmechanik von entscheidender Bedeutung sind, so wird die auf deren Ausführung verwendete Sorgfalt mehr als vergolten.

Ehe die Anstellungsweise der Versuche über die negative Stromschwankung der Nerven und Muskeln des Frosches beschrieben wird, soll hier eine Versuchsanordnung mitgetheilt werden, die für die physiologische Bedeutung der elektrischen Ströme im thierischen Körper von hervorragendem Interesse ist, nämlich der du Bois'sche Versuch zum Nachweise der negativen Stromschwankung am menschlichen Körper.

Wegen der Widerstände der Epidermis, der Nebenschliessungen durch die Cutis, sowie endlich wegen des Zustandes der parelektrotonischen Schicht lassen sich bekanntlich die Muskelströme während ihres Ruhestandes am Menschen mit unversehrter Haut nur in sehr ungenügender Weise verfolgen. Die beständigen Ströme in aufsteigender Richtung, welche du Bois-Reymond nach mühevollen Versuchsreihen am menschlichen Körper nachweisen konnte, stammen zum grössten Theil von der Haut. Mit Hilfe der negativen Schwankung lässt sich aber untersuchen, ob in diesen vom ganzen Körper abgeleiteten Strömen als Bruchtheil die Ströme der ruhenden Muskeln eintreten oder nicht.

Wenn nämlich bei genau gleichbleibender Ableitungsweise dieses Körperstroms es durch Ausführung von Muskelzusammenziehung gelingt, eine Schwankung in dem einen oder dem anderen Sinne zu erhalten, so ist man vollkommen berechtigt, diese Schwankung auf Rechnung des an der Bildung des Hauptstromes theilnehmenden Muskelstromes zu schieben. Diese Schwankung kann positiv oder negativ sein, je nachdem der Muskelstrom dem Hauptstrome entgegengesetzt oder gleich gerichtet ist. Die Grösse der zu beobachtenden Schwankung kann wegen der parelektronomischen Schicht, welche an der negativen Schwankung keinen Antheil nimmt, verschieden gross ausfallen und steht auch in keinem Verhältniss zu dem Antheil, welchen der Muskelstrom an der Bildung des Körperstroms nimmt.

Die allgemeine Anordnung des Versuches besteht darin, dass man zwei symmetrische Stellen der Haut, z. B. beide Fuss- oder Handspitzen, mit den beiden Enden des empfindlichen Multiplicators verbindet. Da die Ströme, die bei dieser Verbindungsweise durch das Galvanometer gehen, die entgegengesetzte Richtung haben, nämlich beiderseits die aufsteigende von den Fingern zum Rumpfe, so compensiren sie sich gegenseitig und die Nadel kommt auf Null zu stehen. Finden nur auf der einen Körperseite (in dem einen Beine oder Arme) kräftige Zusammenziehungen statt, so wird eine Ablenkung der Nadel entstehen.

Als Zuleitungsgefässe benutzte du Bois-Reymond mit concentrirter Kochsalzlösung gefüllte Porzellan- oder Glasgefässe, in welche die abgeglichenen Platten von Platin [1]) als Multiplicatorenden tauchten.

Die Verbindung der Haut durch Bäusche mit den Galvanometerenden ist unthunlich, da bei der Zusammenziehung der Muskeln eine Verschiebung der Hautstellen, also Veränderung des Widerstandes nicht zu umgehen ist. Bei der Eintauchung dagegen überzeugte sich du Bois-Reymond, dass es, um keine Fehler durch kleine Verschiebungen dieser Theile befürchten zu dürfen, genügt, vor der Zusammenziehung die als Ableitungen benutzten Theile etwas tiefer einzutauchen, als man es während der Zusammenziehung zu thun gedenkt.

Die geeignetste Art, den Versuch anzustellen, ist folgende: Die gewöhnlichen Zuleitungsgefässe des Multiplicators werden in einiger Entfernung von einander auf den Tisch aufgestellt und die beiden Zeigefinger, welche man am weitesten und unabhängigsten vorstrecken kann, in dieselbe bis zur Berührung des Bodens getaucht. Um den Händen bei der Zusammenziehung irgend eine feste Stütze zu geben und ihre Verschiebung zu vermeiden, wird vor den Zuleitungsgefässen eine feste Handhabe aufgestellt. Du Bois-Reymond benutzte einen festen Stab, der zwischen zwei Zwingen auf dem Tisch wagerecht befestigt war.[2])

Dieser Stab wurde mit den Händen gefasst und die Zeigefinger in die Zuleitungsgefässe getaucht. Beide Arme müssen dabei ganz erschlafft sein. Ist die Nadel auf den Nullpunkt zurückgekehrt, so macht man mit dem einen Arm eine kräftige Muskelcontraction, während der andere im erschlafften Zustande verharrt.

---

1) Man kann jetzt Zuleitungsgefässe aus einer unpolarisirbaren Combination herstellen.

2) Das Nähere über die Ausführung dieses Versuchs, sowie eine Abbildung der Versuchsanordnung findet man in du Bois-Reymond's Untersuchungen u. s. w. Bd. II. 2. Abthlg. p. 276 und folgende.

Man beobachtet dann eine Ablenkung, welche die Abwesenheit eines aufsteigenden Stroms im contrahirten Arme anzeigt.

Die Zusammenziehung der Muskeln muss mit möglichst grosser Kraft ausgeführt werden; bei muskulösen Individuen, die ihre einzelnen Muskelgruppen durch Uebung gut zu beherrschen vermögen, gelingt dieser Versuch sehr häufig.

Um den Versuch leichter gelingen zu lassen, haben Mousson, Buff und Bancalari vorgeschlagen, ihn statt von einem Menschen, von mehreren gleichzeitig anstellen zu lassen. Die zweckmässigste Anordnung solcher Versuche ist nach du Bois-Reymond die, dass man die Personen, welche den Kreis bilden, nicht direct mit den Händen sich berühren lässt, sondern dass man zwischen je zwei Personen ein Zuleitungsgefäss aufstellt, in welche beide ihre Zeigefinger eintauchen.

Die Compensation der Nadelablenkungen, welche von dem Körperstrome abgeleitet wird, kann mit Hilfe des Rheochordes oder des Compensators unterstützt werden. Die Ausführung des Versuchs wird dadurch nicht unbeträchtlich erleichtert.

Zu Versuchen über die negative Schwankung tetanisirter Nerven oder Muskeln benutzt man den N. ischiadicus, die Muskeln Gracilis, Adductor magnus oder Sartorius. Wegen seines unregelmässigen Baues ist der Gastrocnemius zu vermeiden, da man sonst den grössten Täuschungen ausgesetzt wird.[1]) Die Präparationen dieser Theile geschehen auf die oben beschriebene Weise.

Zur Erzeugung des Tetanus werden, wenn man elektrische Reize braucht, nur inducirte Wechselströme verwendet. Der Hauptgrund davon liegt darin, dass man dabei die elektrotonischen Wirkungen, welche gleichgerichtete Ströme nothwendig erzeugen müssen, vermeidet. Die Anwendung inducirter Ströme, die von den Schlittenmagnetelektromotoren geliefert werden, führt aber einen gewissen Uebelstand nach sich. Wegen der ungleichen physiologischen Wirkungsweise der Schliessungs- und Oeffnungsschläge erhält man, wie du Bois-Reymond gezeigt hat, bei Anwendung stärkerer Ströme elektrotonische Erscheinungen im Sinne des länger dauernden Schliessungsschlages, welche sich mit der Wirkung der negativen Schwankung combiniren.

Um diesen Fehler zu vermeiden, müssen an dem Inductionsapparate die im § VII aufgezählten Mittel zur Ausgleichung der Inductionsströme angebracht werden.

Die von Bernstein benutzte Nebenschliessung im primären Kreise (s. o.) ist von diesen Mitteln noch das geeignetste. Je ferner die reizenden Elektroden von den stromableitenden am Nerven angelegt werden, um so geringer ist übrigens die Gefahr der eben erwähnten Störung. Um die Sicherheit zu gewinnen, dass nicht auch elektrotonische Erscheinungen mit im Spiele sind, schaltet man in der stromzuführenden Leitung einen Stromwender ein und wechselt vor jedem Versuch die Pole der secundären Rolle.

Besondere Sorgfalt muss bei diesen Versuchen auf die Unterhaltung der Feuchtigkeit im Raume, wo der thierische Theil sich befindet, verwendet werden. Dies

1) Ueber die Fehlerquellen bei Verwendung des Gastrocnemius zu Untersuchungen über die negative Schwankung siehe die erschöpfende Discussion der Meissnēr'schen Untersuchungen in du Bois-Reymond's Abhandlung „Ueber die negative Schwankung" etc. Arch. von Reichert und du Bois-Reymond. 1873.

ist noch mehr zu beachten bei Versuchen über die negative Schwankung des Muskelstroms, weil die Dünne des Muskelnerven sie der Gefahr der Austrocknung noch mehr aussetzt, als den Ischiadicusstamm.

Sehr zweckmässig ist es, nach dem Beispiele Bernstein's bei der Unterbrechung der negativen Schwankung des Nervenstromes die beiden Nn. ischiadici des Frosches zu benutzen. Ihre centralen Enden werden zusammengebunden, worauf sie ihrer Länge nach nebeneinander in gleicher Weise auf die ableitenden Elektroden aufgelegt werden. Man schützt dadurch die Nerven leichter vor Vertrocknung und hat den noch wichtigeren Vortheil, dass man sämmtliche Stromwirkungen in wesentlich verstärkter Gestalt erhält.

Hat man am Nerven oder Muskel die ihnen während der Ruhe zukommende Ablenkung der Nadel erhalten, so compensirt man diese Ablenkung auf die schon öfters angegebene Weise mittelst des Rheochords oder Compensators. Diese Compensation hat beim Nerven blos den Vortheil, dass sie die Beobachtung des negativen Ausschlags, welcher natürlich im Sinne des compensirenden Stromes stattfindet, bedeutend erleichtert. Beim Muskelstrome hat diese Compensation aber eine noch viel wichtigere methodische Bedeutung.

Erhält man nämlich ohne vorherige Compensation des Muskelstroms einen negativen Ausschlag, während er in Tetanus geräth, so kann dieser Ausschlag nicht ohne Weiteres auf die Verminderung der elektromotorischen Kraft des Muskels zurückgeführt werden. Er kann auch von der Veränderung des Widerstandes abhängen, welche der Muskel während seiner Contraction erleidet. Findet dabei ausserdem eine Veränderung der Kraft des Muskelstromes statt, so kann demnach deren Sinn nicht unmittelbar aus dem Sinne der Ablenkung folgen.

Wird aber der Strom des ruhenden Muskels compensirt, so kann keine Veränderung im Widerstande des Bussolzweiges einen Ausschlag herbeiführen. Findet eine, wenn auch ganz kleine Verminderung der elektromotorischen Kraft statt, so wird ein negativer Ausschlag erfolgen auch beim vollständigen Schwinden des Widerstandes im Bussolzweige.[1])

---

1) Der von du Bois-Reymond hierfür gelieferte Beweis beruht auf folgendar Betrachtung. Bezeichnet E die Kraft der compensirenden Kette, λ den Widerstand der eingeschalteten Nebenleitung, M den Widerstand des Bussolkreises, y die elektromotorische Kraft des Muskels, C den Widerstand der Kette + den des ganzen Nebenschliessdrahtes (siehe § VI), bezeichnet man ferner durch Δy und Δ_M die von einander abhängigen Grössen, um welche sich y und M ändern, so ist bei Compensation des Muskelstroms die Stärke J des in Folge der Aenderung beim Tetanisiren entstehenden Stromes

$$J = \frac{(y \pm \Delta_y)\ C - E\lambda}{(M \pm \Delta_M)\ C + (C-\lambda)\lambda}.$$

Der Nenner ist stets positiv, und da $y\ C = E\lambda$, so wird das Zeichen der jetzt auftretenden Ablenkung allein von dem Zeichen abhängen, das Δy haben wird; bei $\Delta y = 0$ wird auch $J = 0$.

Ist dagegen der ursprüngliche Strom J nicht compensirt worden, so ist der Unterschied Δj zwischen J und der neuen Stromesstärke J'

$$J' - J = \Delta j = \frac{\pm \Delta_y (M+\lambda) + \Delta_M y}{(M+\lambda)^2 + \Delta_M (M+\lambda)}.$$

Als weiterer Vortheil der vorherigen Compensation ist hervorzuheben, dass der Ausschlag immer vom Nullpunkt abgelesen wird und die Scala nur auf kurzer Ausdehnung beleuchtet werden muss.

Die Aenderung des Widerstandes im Bussolenkreis hängt nicht nur von der, durch den Contractionszustand vermehrten Leitungsfähigkeit des Muskels ab. Ein viel störenderer Umstand liegt darin, dass bei der Zusammenziehung des Muskels seine Berührungspunkte mit den Ableitungsgefässen sich ändern und so Schwankungen der Nadelablenkung zu erzeugen vermögen, die nichts mit Veränderungen der elektromotorischen Kraft zu thun haben. Die daraus entspringenden Mängel können sogar so beträchtlich werden, dass einige Beobachter sich verleiten liessen, die ganze negative Schwankung im Muskel als von einer solchen Verschiebung herrührend zu erklären (Meissner und Cohn.)

Es sind verschiedene Mittel in Anwendung gebracht worden, um solcher Verschiebung des Muskels vorzubeugen. Am häufigsten wurde geringe Ausspannung des Muskels angewendet; das sehnige Ende des Muskels wird mit dem anhängenden Knochenstücke losgetrennt und dies letztere mit einer starken Nadel oder einer Klemmpincette festgeklemmt. Durch eine feine Glasnadel wurde auch der künstliche Querschnitt, wenn von einem solchen der Strom abgeleitet werden sollte, an einem gefirnissten Korkstücke angespannt.

Du Bois-Reymond, welcher häufig diesen Kunstgriff anwendet, überzeugte sich aber bald von seiner Mangelhaftigkeit, besonders wenn man von etwas stärkeren Muskeln ableitet. Entweder erleidet der Querschnitt doch eine Verschiebung, oder er haftet mit einem Punkte fest an der Nadel, während er rings sich zurückzieht und so eine kegelförmige Hervorragung bildet. In diesem letzteren Falle erhält man statt des negativen Ausschlags positive, die ihren Ursprung in den vom Kegelmantel ausgehenden Neigungsströmen haben.

In jüngster Zeit hat du Bois-Reymond endlich ein Mittel angegeben, um diesem Uebelstande zu entgehen. Er verzichtete darauf, künstliche Querschnitte durch mechanische Abtragung des Sehnenspiegels herzustellen, und erreichte dies vielmehr auf thermischem Wege. Der Muskel wurde an beiden Enden mit den Knochenstücken herausgeschnitten und das zur Ableitung vom Querschnitte bestimmte Ende wurde, während einer Minute, in eine 50^0 warme, dreiprocentige Kochsalzlösung getaucht. Es wurde eine etwas höhere Temperatur, als gerade zur Wärmestarre nothwendig, gewählt, weil die daraus entstehende Abkürzung der Eintauchungszeit sich sehr zuträglich für die Erhaltung des Muskelrestes und des Nerven herausstellte. Während dieses Eintauchens wird der am Hilus (siehe oben die Präparationsweise von du Bois-Reymond) zusammengefaltete Nerv am besten durch Einhüllung vor den Dämpfen und der Strahlung geschützt, obgleich die Aengstlichkeit davor nicht zu weit zu treiben ist. Du Bois überzeugte sich nämlich, dass, wenn sogar an beiden Enden eines Muskels thermische Querschnitte hergestellt werden, man doch bei Ableitung vom Aequator und einem der

---

Auch hier ist der Nenner stets positiv; der Zähler kann aber auch beim negativen Δ_y positiv sein und umgekehrt negativ beim positiven Δ_y. Sogar bei $\Delta_y = 0$ wird Δ_j einen positiven oder negativen Werth haben, je nach dem Zeichen von Δ_M, also je nach dem Sinne, in welchem der Widerstand des Bussolenzweiges sich ändern wird.

Knochenstücke noch ausgiebige negative Schwankungen erhält. Die wärmestarre Schicht am Muskel hat dieselbe Bedeutung wie die abgestorbene Schicht, welche sich am mechanisch angelegten Querschnitt bildet, und schadet ebensowenig wie diese letztere.

Der so zubereitete Muskel wird abgekühlt, mit Fliesspapier getrocknet und dann seine beiden Knochenstücke durch Glashaken oder Fäden an Korkbrettchen befestigt. Noch zweckmässiger ist zu diesem Behufe die von du Bois benutzte Streckvorrichtung; sie besteht aus zwei Messingklötzchen, die durch einen Querbalken beliebig von einander entfernt werden können. Diese Messingklötze besitzen mit Elfenbein ausgekleidete Einschnitte, in welche die beiden Knochenstücke eingehakt werden.[1]) Ein Arm mit Kugelgelenk gestattet der Streckvorrichtung die beliebige Stellung und Neigung zu geben.

Statt der Wärmestarre kann man auch einen unverrückbaren künstlichen Querschnitt erzeugen, wenn man den natürlichen Querschnitt (Sehne) mit einer ätzenden Flüssigkeit (Kreosot oder Säure) bepinselt.. Der thermische Querschnitt hat aber insofern einen Vorzug vor dem chemischen, dass er weniger schräg ist, also weniger Veranlassung zu Neigungsströmen giebt.

Der chemische Querschnitt wird nur dann vorgezogen, wenn man, ohne den Muskel von den Bäuschen zu entfernen, die Unterschiede in der negativen Schwankung bei Ableitung vom natürlichen und vom künstlichen Querschnitte zeigen will.

Die Ableitung geschieht mit Hilfe der Thonspitzen einerseits vom Aequator, andererseits von dem am Knochenstücke haftenden wärmestarren Querschnitte, oder endlich von dem Knochenstücke selbst.

Tetanisirt wird ein solcher Muskel von seinem Nerven aus; es gelingt so, Tetanus bei ihm ebenso vollkommen, wie bei einem querdurchschnittenen Muskel zu erlangen.

Um den Betrag zu bestimmen, um welchen der ursprünglich im Nerven oder Muskel bestehende Strom beim Tetanisiren geschwächt wird, genügt es, das Maximum des Ausschlags, welchen die Nadel bei voller Compensation erhält, auf die vor der Compensation beobachtete constante Ablenkung zu dividiren. Mit dem Compensator dem negativen Ausschlag zu folgen und die negative Schwankung auf diese Weise zu messen, ist darum unthunlich, weil die Nadel keinen Augenblick auf ihrem Höhepunkt verweilt, sondern sofort anfängt zuerst langsam und dann schneller auf den Nullpunkt zurückzukommen.

Will man bei Bestimmung des Betrags der negativen Schwankung am tetanisirten Muskel den, aus der Widerstandsveränderung entstehenden kleinen Fehler vermeiden, so schaltet man im Bussolkreis einen grossen Widerstand ein, gegen den die Widerstandsveränderung des Muskels verschwindet. Als solchen Widerstand wählt man feuchte Faden oder Fliesspapierstreifen. Du Bois-Reymond benutzte zu diesem Zwecke ein feines Thermometerrohr, das an beiden Enden mit Thon verschlossen und mit einer dreiprocentigen Kochsalzlösung gefüllt war.

Um die negative Schwankung beim gedehnten Muskel zu beobachten, benutzt man am einfachsten die schon erwähnte Streckvorrichtung von du Bois-Reymond.

---

1) Diese Streckvorrichtung ist im zweiten Bande der „Untersuchungen über thierische Elektricität" auf Taf. I Fig. 8 abgebildet und auf S. 67 beschrieben.

Will man den Muskel bei solchen Beobachtungen auch ohne Dehnung unbeweglich machen, so umgiesst man den Muskel mit einem rasch erstarrenden Nichtleiter. Sowohl nach Harless' als nach du Bois-Reymond's Erfahrungen ist Gyps als guter Leiter dabei nicht zu gebrauchen. Dagegen empfiehlt Letzterer den Kolophoniumkitt als sehr zweckmässig, den man bei 71° C. eben leichtflüssig macht. Man taucht auf möglichst kurze Zeit den Muskel, am Nerven gehalten, in diesen Kitt; zum Schutz des Nerven wird etwas Bindegewebe an seiner Eintrittsstelle gelassen. Der Kitt erstarrt sofort bei der Berührung mit dem Muskel; nachdem er abgekühlt ist, wird der Muskel von Neuem mehrmals in den flüssigen Kitt getaucht. Hat man so eine genügend starre Bekleidung des Muskels, so entblösst man ihn an zwei Stellen, von welchen dann abgeleitet wird. Nur ein dicker Muskel, wie der Gastrocnemius, kann ohne Gefahr für seine Leistungsfähigkeit dieser Eintauchung ausgesetzt werden. Harless verwendete Cacaobutter, beging aber den Fehler, den Muskel vorher mit Oel zu bestreichen.

Die Beobachtungen über den zeitlichen Verlauf der negativen Stromesschwankung sind, besonders seit den schönen Untersuchungen Bernstein's, für die Theorie der Nervenerregung von weittragender Bedeutung geworden. Die Methoden, solche Beobachtungen zu machen, müssen also etwas ausführlicher besprochen werden.

A. v. Bezold war nach Helmholtz der Erste, welcher den zeitlichen Ablauf der negativen Schwankung im Muskel genauer feststellte. Von der Beobachtung Helmholtz's ausgehend, dass der Moment der Erregung der secundären Zuckung etwa in die Mitte der latenten Reizung des Muskels fällt, suchte Bezold auf folgende Weise den Punkt noch genauer zu ermitteln, in welchem die negative Schwankung im Muskel beginnt.

Zwei Gastrocnemii wurden mit ihren Nerven herauspräparirt und nebeneinander vor dem Cylinder des Helmholtz'schen Myographions aufgehängt. Der Nerv des einen Muskels wurde mit einem Inductionsschlag gereizt, während der Nerv des anderen an diesen Muskel in einer Weise angelegt war, dass dessen Muskel durch die negative Schwankung des unmittelbar gereizten Nerven in secundäre Zuckung gerieth. Beide Muskeln zeichneten ihre Curven auf der rotirenden Trommel, und aus der Vergleichung der beiden nebeneinanderliegenden Zuckungscurven berechnete Bezold, dass die negative Schwankung im Beginn der latenten Reizung stattfindet.

In einer anderen Weise suchte Frithiof Holmgren den Zeitpunkt der negativen Schwankung festzustellen, als er im Laboratorium von du Bois-Reymond die sogenannten doppelsinnigen Schwankungen [1]) beobachtete. Er bediente sich dazu des von du Bois zu anderen Zwecken eingerichteten Froschunterbrechers.[2]) Der im Augenblicke der Reizung im Bussolenkreis eingeführte

---

1) Doppelsinnig nennt du Bois-Reymond eine Schwankung, bei welcher die Ausschläge der Nadel in positivem und negativem Sinne einander folgen.

2) Bei Gelegenheit seiner Versuche über die elektrischen Fische construirte du Bois-Reymond ein paar sehr ingeniöse Vorrichtungen, die er als Froschwecker und Froschunterbrecher beschrieben und abgebildet hat („Vorrichtungen" etc. S. 148 u. f.). In der ersten wurde ein Nervenmuskelapparat mit einer Glockeneinrichtung derart verbunden, dass bei jeder

Muskelstrom wurde im Moment, wo die Zusammenziehung des Muskels beginnt, wieder aus dem Kreise ausgeschaltet. (Die Schwankungen des Muskelstroms wurden dabei an einer mit leichtem Magnetspiegel versehenen Bussole abgelesen.) Einige andere ähnliche Kunstgriffe gestatteten Holmgren nach Belieben, während der latenten Reizung, oder während anderer Momente der Erregung des Muskels, die Schwankungen der Stromesstärke zu beobachten.

Viel genauer lassen sich aber ähnliche Versuche mit Hilfe der fruchtbringenden Methode von J. Bernstein ausführen. Die von ihm benutzten Apparate und seine Versuchsanordnung sind auf Taf. XLIX Fig. 1 und Taf. XLVII Fig. 5, 6 und 7 abgebildet.

Taf. XLIX zeigt den Helmholtz'schen elektromagnetischen Rotationsapparat, welcher zur Erzeugung einer gleichmässig schnellen Umdrehung des Bernstein'schen Rheotoms benutzt wurde.[1])

Auf einer verticalen Axe *a*, *a* aus Eisen sind zwei Elektromagnete *H* und *K* mit ihren ungleichnamigen Polen befestigt. Diese Axe ist in dem eisernen Galgen *A*, *A*, *A*, *A*, drehbar, der unten mit einem Querbalken *B*, *B* versehen ist und auf drei Stellschrauben *C*, *C*, *C* sich wagerecht einstellen lässt.

Das untere konische Ende der Axe *a*, *a* ruht in einer ebenfalls eisernen konischen Pfanne, welche in der Mitte des Quecksilbernapfes *b* angebracht ist. Das obere konische Ende der Axe ruht in der Pfanne der Schraube *d*, deren Einstellung mittelst der Schraubenmutter *e* gesichert wird. Gleich unterhalb des oberen Endes trägt die Axe drei Scheiben *f* von verschiedener Grösse, welche an ihren Peripherien Nuten für einzulegende Schnüre besitzen. Die ebenfalls mit Nuten versehenen Rollen *J* an einer der Galgensäulen *A* dienen zur Uebertragung der Bewegungen von der, um eine verticale Axe drehbaren Scheibe *f* auf die an derselben Galgensäule angebrachte Scheibe, die sich um eine horizontale Axe dreht. Die Schraubenmutter *g* dient zur Fixation der Scheibe *f*. Eine ähnliche Schraubenmutter befindet sich auch an der als Axenlager dienenden Schraube für die vertical stehende Scheibe.

Auf dem unteren Querbalken *A* des Galgens ist eine runde, um ihren Mittelpunkt verschiebbare Scheibe aus Hartgummi angebracht. Diese Scheibe trägt zwei halbovale Näpfe *b* aus Elfenbein, die mit Quecksilber gefüllt sind. Das Quecksilber eines jeden Napfes steht mit je einer der beiden Klemmen *h*, welche auf der Scheibe sitzen, in leitender Verbindung. Die Kuppe des Quecksilbers ragt über die Ränder der Näpfe, so dass die zwei Drahtenden *q* und *o*, welche durch

---

Contraction des Muskels ein Hammer an die Glocke anschlug. War der Nerv in solche leitende Verbindung mit dem elektrischen Fische gebracht, dass er von dessen Schlägen gereizt wurde, so zeigte dies ein Glockenschlag an. Der Froschunterbrecher hatte zum Zweck, die Wirkungen der einzelnen Schläge des Fisches beobachten zu können. Der Nerv wird hier vom ersten Schlage des Fisches getroffen; die in Folge dessen eintretende Contraction des Muskels unterbrach die Leitung zur Spiegelbussole, auf welche in dieser Weise nur der eine Schlag des Fisches wirken konnte.

1) Dieser Rotationsapparat ist von Exner zuerst beschrieben und abgebildet worden. Der von uns gezeichnete, auch vom Mechaniker Zimmermann in Heidelberg stammende Apparat weicht durch einige kleine Verbesserungen von dem ursprünglichen ab.

die Elfenbeinhülle p von einander isolirt sind, in das Quecksilber tauchen können, ohne bei ihrer Drehung von den Leisten der Näpfe gehemmt zu werden.

In der Mitte zwischen dem unteren Querbalken und dem Elektromagnet durchbohrt die Axe a, a das länglich viereckige Tischchen E, E, welches den Helmholtz'schen Regulator des Rotationsapparates trägt. Dieser Centrifugalregulator dient, um den Drehungen der Magneten H und K eine regelmässige Geschwindigkeit zu verleihen.

Das Gewicht g wird von dem unteren Fortsatze eines Y-förmigen Metallstücks n[1]) getragen, das seinerseits mittelst der Schrauben l an den Armen eines T-förmigen Metallstücks derart befestigt ist, dass es um die Verbindungslinie der beiden Schraubenpfannen leicht drehbar ist. Bei der Drehung des Y-förmigen Fortsatzes n wird das Messinggewicht g an das Tischchen genähert oder von demselben entfernt.

An der dem Tischchen zugekehrten ebenen Fläche des Gewichtes g befindet sich ein Fortsatz, der bei der Ruhelage des Gewichts an ein Metallplättchen z anliegt, das mit der Klemme y und durch dieselbe mit dem Drahte q leitend verbunden ist. Das Metallplättchen ist seinerseits durch einen Hartgummieinsatz isolirt.

Das Gewicht steht durch den verticalen Schenkel des Y-förmigen Messingstücks und durch Vermittelung eines spiralig gewundenen Drahtes mit dem Drahte w in leitender Verbindung, der das Drahtende v des Elektromagnetes H aufnimmt.

Zwei Spiralfedern (von denen auf der Zeichnung nur die eine sichtbar ist) verlaufen unter dem Tischchen und sind einerseits durch die Schräubchen α an das Gewicht, andererseits an die quer unter dem Tische liegende Metallleiste ϑ befestigt. Diese Federn ziehen das Gewicht an das erwähnte Metallplättchen z an.

Die Querleiste ϑ besitzt eine Schraubenmutter, in welcher die Schraube L geht. Mit Hilfe dieser Schraube können die Spiralfedern gespannt, die Anziehung des Gewichts an das Metallplättchen also vergrössert werden.

Um den Gang der Leiste ϑ sicherer zu machen, besitzt sie einen Ansatzwürfel, der in einem Längsschlitz des Tischchens sich bewegt. Neben dem Schlitze ist die auf der Zeichnung sichtbare Scala δ angebracht, auf deren Theilstriche eine Marke des Ansatzwürfels zeigt. Die Theilstriche sind so gewählt, dass bei jeder Umdrehung der Schraube L die Querleiste ϑ sich um einen Theilstrich verschiebt. Um Bruchtheile einer Umdrehung bestimmen zu können, ist an der Schraube eine in 360 Grade getheilte Scheibe O angebracht. Der rechtwinkelig gebogene Metallaufsatz β besitzt eine Marke, an welcher die Schraube sich vorbeibewegt.

Die Fortsetzung des Drahtes o läuft in einer mit Elfenbein ausgelegten Bohrung an der Axe a, a vorbei und begiebt sich durch die Klemme t'' zum Elektromagnet K. Nachdem der Draht o diesen Magnet umwunden hat, geht er auf den Elektromagnet H über, den er in derselben Richtung umwindet, und endet dann in den Draht v und w.

Von w geht die Leitung durch den spiralig zusammengewundenen Draht zu

---

1) Man sieht auf der Zeichnung nur den einen Schenkel dieses Y-förmigen Fortsatzes.

dem Metallstück *s* und dem Gewicht *g*. Liegt das Gewicht dem durch *z* isolirten Metallplättchen an, so geht die Leitung weiter durch deren Klemme *y* zum Drahte *q*.

Durch das Abheben des Gewichts von diesem Plättchen wird der Strom unterbrochen.

Um bei dieser Unterbrechung die Bildung von Funken zu verhüten, sind an den Klemmen *t'* und *t'''* Drähte angelegt, welche in die beiden, auf der Zeichnung sichtbaren, mit *ClCa*-Lösung gefüllten Gefässe tauchen. Diese Drähte sammt den Gefässen und in ihnen liegenden Platinblechen bilden eine Nebenschliessung zum Abblenden der Funken.

Die Glasgefässe stehen auf einer Kautschukplatte, durch welche die Drähte durchgelassen sind, und besitzen an der entgegengesetzten Seite des Tisches ein Gegengewicht. Du Bois-Reymond ersetzte später diese Gefässe mit Chlorcalciumlösung durch einen inductionsfrei gewickelten Neusilberdraht von 45 Ctm. Länge und 0,23 Mm. Durchmesser. Auch hierbei konnte der Funke kaum noch mit der Lupe beobachtet werden.

Die unbeweglichen Elektromagnete *X* und *Y* bestehen aus Eisenkernen, die mit Drahtwindungen umgeben sind und an ihren beiden inneren Enden zwei hufeisenartige Eisenstücke *N* und *S* tragen.

Diese Eisenstücke bilden so einen Ring um die beweglichen Elektromagnete, der den letzteren zwar sehr nahe zu liegen kommt, sie aber bei ihrer Drehung nirgends berührt.

An der Kautschukplatte *3* ist eine Klemmschraube *1* befestigt, die einerseits das Drahtende *R* der Stromquelle, andererseits den Draht *4* aufnimmt. Dieser letztere Draht setzt sich bei *5* fort, umwindet die Spirale *Y* und geht zu Klemme *6*, die auf dem Metallstreifen *G* ruht. Dieser Metallstreifen, der in einiger Entfernung den Ring *N S* umgiebt, dient als Leitung zur Klemme *10*, von welcher ein zweiter Draht ausgeht, der in derselben Richtung wie bei *Y* den Eisenkern *X* umwindet und als Draht *12* durch die Kautschukplatte *13* und von da als *14* zur Klemmschraube *2* und zu dem anderen Pol *T* der Stromquelle geht.

Um den Apparat in Thätigkeit zu versetzen, verbindet man *R* und *T* mit einem Daniell'schen Element, die Quecksilbernäpfe *b* durch die Klemmen *h* mit einer Batterie von 3 bis 4 solcher Elemente.

Befindet sich bei *R* der positive Pol, so wird bei der Richtung der Windungen im Elektromagnet *Y* sein hufeisenförmiges Ende *N* den Nordpol bilden. Der weiter die Spirale *X* in derselben Richtung umkreisende Strom wird gleichzeitig *S* zum Südpol machen.

Der Strom der zweiten Kette wird vom Quecksilber des Näpfchens *b* zum Drahte *q*, von da zur Klemme *y*, zum Metallplättchen *z*, zum Gewicht *g*, Metallstück *n* gehen und durch die Drähte *w* und *v* zum Elektromagnet *H* gelangen. Diesen umkreist der Strom, von seinem äusseren Ende betrachtet, in entgegengesetzter Richtung eines Uhrzeigers; dadurch wird sein dem fixen Elektromagnet zugewendeter Pol ein Nordpol. Der Strom geht dann zum Etektromagnet *K*, umkreist ihn in derselben Richtung und macht dabei seinen äusseren Pol zu einem

Südpol. Durch den Draht t'' o kehrt der Strom dann zum zweiten Quecksilbernapf und zur Batterie zurück.

Giebt man dem inneren Elektromagnet im ovalen Ringe N S eine diagonale Stellung, so wird jeder seiner Pole von dem einen Pol der äusseren Elektromagnete angezogen, von dem anderen abgestossen werden. Dadurch streben die Magnete K und H in ihre (auf der Zeichnung ihnen gegebene) Gleichgewichtslage zu gelangen. Vermöge ihrer Trägheit eilen sie aber über dieselbe hinaus, wobei die Drahtspitzen o und q in die entgegengesetzten Quecksilbernäpfe gelangen und so die Stromrichtung in den Elektromagneten umkehren. Durch diese Umkehr werden aber die Pole der beweglichen Magnete jetzt von denselben Polen der fixen Magnete abgestossen, welche sie früher angezogen und umgekehrt; H und K setzen daher ihre Bewegung fort, o und q kehren den Strom von Neuem um u. s. w.

Die so entstehende Rotation der inneren Magnete kann aber eine gewisse Winkelgeschwindigkeit nicht überschreiten; denn wenn das Gewicht g durch die Centrifugalkraft von der Platte z sich abhebt, wird der sie umkreisende Strom unterbrochen und die Winkelgeschwindigkeit nimmt sofort ab. Man kann diese Winkelgeschwindigkeit variiren, indem man durch An- oder Abspannen der Spiralfedern α ϑ mittelst Drehung der Schraube L die Grösse der Centrifugalkraft vermehrt, beziehlich vermindert, welche zum Abheben des Gewichts g erforderlich ist.

Die Elektromagnete und der Regulirungsapparat dienen gleichzeitig als Schwungräder und machen die Rotationsgeschwindigkeit möglichst constant. Man erkennt an dem leisen Klappern des Gewichtes, ob diejenige Geschwindigkeit erlangt ist, bei welcher der Regulator seine Wirkung ausübt.

Wie sich Helmholtz überzeugt hat, ist die Constanz der Umdrehungsgeschwindigkeit dieses Rotators eine sehr genaue. Eine durch Schnurlauf mit ihm verbundene Sirene wurde in so regelmässige Rotation versetzt, dass sie mit einer gleichzeitig tönenden Stimmgabel ganz regelmässige Schwingungen gab. Während 5 Minuten wechselte die Schwingungszahl nicht um $^1/_{4000}$ ihrer Grösse.

Eine solche constante Rotationsgeschwindigkeit wird übrigens nur erhalten, wenn die zur Instandsetzung des Apparates verwendeten Stromesstärken nicht viel grösser genommen werden, als gerade ausreichend ist, um die inneren Magnete in Rotation zu versetzen.

Es muss auch sorgfältig darauf Acht gegeben werden, dass die Näpfe immer mit Quecksilber gefüllt sind. Das von den Drähten o und q weggespritzte Quecksilber verlangt fortwährenden Ersatz.

Diese, wie ich auch aus eigener Erfahrung weiss, ganz vorzüglich arbeitende Rotationsmaschine findet die ausgedehnteste Anwendung überall da, wo irgend eine Scheibe oder ein Cylinder mit grosser und gleichmässiger Geschwindigkeit in Rotation versetzt werden soll.

Die Zahl der Umdrehungen kann, ausser an den Magneten selbst durch Verstellung der Schraube L, noch dadurch variirt werden, dass man zur Uebertragung der Bewegung Scheiben von verschieden grossen Radien wählt.[1])

---

1) Du Bois-Reymond schlägt vor, zur Verminderung des Luftwiderstandes den Regulator in eine Trommel einzuschliessen.

Die Geschwindigkeit der erreichten Umdrehungen wird entweder mit Hilfe einer chronographischen Vorrichtung gemessen oder, indem man zuerst mittelst einer an der Uebertragungsschnur angebrachten Marke die Zahl der Schnurumdrehungen in der Minute bestimmt und dann durch langsames Bewegen der Scheibe abzählt, wie viel Drehungen sie bei einer Schnurumdrehung macht. Die erste Methode ist natürlich viel genauer.

Dieses Rotators bediente sich Bernstein, um seine Vorrichtung zur Beobachtung des zeitlichen Verlaufs der negativen Schwankung in Bewegung zu versetzen.

Der von dem Bernstein'schen Apparate zu erreichende Zweck bestand darin, in gewissen regelmässigen Intervallen dem Nerv oder dem Muskel Reize zu ertheilen und innerhalb dieser Intervalle den Effect dieser Reize auf dessen elektromotorische Kräfte zu beobachten. Um diese Effecte, während beliebiger Abschnitte dieser Intervalle, mit Hilfe der Bussole ablesen zu können, muss der Apparat den thierischen Theil in den Bussolenkreis, während dieses Zeitabschnittes, schnell ein- und auszuschalten erlauben. Aus dem zeitlichen Ablauf der negativen Schwankung sollen auf diese Weise nur einzelne Bruchtheile auf die Nadel einwirken können.

Bernstein erfüllte diese Forderungen durch folgende Einrichtung. Der Helmholtz'sche Rotationsapparat setzt ein Rad in regelmässige Bewegung, an dessen Peripherie an einer Stelle eine Spitze angebracht worden war, die bei einer gewissen Stellung des Rads einen Draht berührt und dadurch den primären Kreis eines Inductionsapparates schliesst. Ist ein Nerv oder Muskel im Kreise der Nebenrolle eingeschaltet, so erhält er durch Schluss und Oeffnung des primären Kreises zwei so schnell aufeinanderfolgende Stromschläge, dass sie als ein momentaner Reiz betrachtet werden können.

An einer andern Stelle desselben Rads sind zwei untereinander verbundene Metallspitzen angebracht, welche bei einer gewissen Stellung des Rads in zwei Quecksilbernäpfe tauchen, die mit dem Bussolenkreis in Verbindung stehen. Durch das Eintauchen dieser beiden Spitzen wird dieser letztere Kreis, in welchem auch der thierische Theil eingeschaltet war, geschlossen.

Die Dauer des Schlusses kann beliebig variirt werden.

Die genauere Einrichtung dieses Apparates, welchen Bernstein als Differential-Rheotom bezeichnet, lassen wir mit seinen eigenen Worten beschreiben. Auf Taf. XLVII zeigt Fig. 5 einen senkrechten, durch die Axe des Rades geführten Durchschnitt. Die Axenlager *a*, *a* für die stählerne Axe befinden sich in einem 13 Ctm. hohen und 26½ Ctm. langen eisernen Rahmen *A*. Das in der Mitte der Axe befindliche Rad *r* ist aus Messing und trägt die erwähnten Spitzen. Fig. 6 derselben Tafel zeigt den Rheotom von oben gesehen.

„Auf der Peripherie des Rades *r* sitzt, durch ein Stück Kammmasse *kk* isolirt, ein Messingstück *m*, welches die in einer kleinen Kugel auf- und niederzuschraubende Stahlspitze *p* trägt. Dieselbe ist schräg nach unten geneigt, so dass ihr oberer Theil der Richtung der Bewegung zugewandt ist. Sie kann während der Rotation mit ihrem unteren zugespitzten Ende den dünnen Kupferdraht *d* berühren, welcher auf einer noch zu beschreibenden Vorrichtung radial gegen das Rad *r* ausgespannt ist, und auf diese Weise die primäre Kette des Inductionsapparates schliessen."

„In Fig. 5 erkennt man, dass das untere Axenlager *a* in einer treppenförmigen Messinghülse *hh* liegt. Dieselbe wird umfasst von einer runden wagerecht liegenden Messingscheibe *ss* von 9 Ctm. Radius, welche man in Fig. 6 von oben erblickt. Dicht über dieser Scheibe liegt ein um dieselbe Hülse drehbarer Messingarm *α*, auf welchem die den Draht *d* tragende Vorrichtung aufsitzt. Diese besteht aus einem senkrecht stehenden hohlen Cylinder *y*, in welchem in einer Führung ein Messingstück *st* mit Hilfe einer Mikrometerschraube auf- und abgeschoben werden kann. An diesem Stück ist ein Messinghäkchen befestigt, welches durch eine Spalte des Cylindermantels hervorragt und ein Elfenbeinblättchen trägt. Auf letzterem sitzt ein ⌊⌋-förmiges Messingklötzchen, über welches der Draht *d* ausgespannt liegt."

„Eine zweite treppenförmige Messinghülse *h' h'*, welche an die erste angeschraubt ist, trägt zwei drehbare Messingarme l_1 und l_2, welche an ihren Enden zwei rinnenförmige Quecksilbergefässe aus Stahl q_1 und q_2 tragen, die von den Messingarmen durch Kammmasse isolirt sind. Die Spitzen p_1 und p_2 sind dazu bestimmt, die Oberfläche des in q_1 und q_2 befindlichen Quecksilbers zu streifen. Dieselben schrauben sich in der Messingwalze *w* auf und ab, welche auf der Peripherie des Rades durch Kammmasse von demselben isolirt eingeschraubt ist."

„Die Scheibe *s* (Fig. 5) hat an ihrer Peripherie eine Kreistheilung in 100 Grade. Der darüber verschiebbare Messingarm *α* trägt seitwärts ein Messingstück mit einem Nonius *n*, auf welchem 1 Grad in 10 Theile getheilt ist. Die Schraube *b* gestattet die feinere Verschiebung dieser Vorrichtung. Sie ruht in einem Kugelgelenk unter dem Messingstück *g*, welches durch eine Stellschraube *t* an die Peripherie von *s* festgeklemmt werden kann, und geht durch die Kugel eines Kugelgelenkes am Ende des Armes *α*, die als Schraubenmutter dient."

„Der Strom der primären Kette wird nun durch die Klemme *i* dem Draht *d* zugeführt (Fig. 6). Bei der Berührung zwischen *d* und *p* geht er durch einen Draht, der durch ein Loch *u* des Rades geführt ist, zu der kreisförmigen Quecksilberrinne *nn* aus Elfenbein (Fig. 5), in deren Quecksilber der Draht rotirt. Von dem Boden der Rinne geht ein Draht, der den zweiten Pol der primären Kette bildet, in einer isolirten Bohrung durch die Hülsen *h* und *h'* nach aussen ab."

„Die Muskel- oder Nervenkette steht vermittelst zweier durch einen Spalt der Scheibe *s* gehender Drähte in Verbindung mit q_1 und q_2 und wird durch die darüber streifenden Spitzen auf kurze Zeit geschlossen. Diese Zeit der Schliessung kann beliebig verkürzt werden, indem man die Arme l_1 und l_2 gegen einander verschiebt."

„Die Spitzen p_1 und p_2, ebenfalls aus Stahl, sind an ihrem unteren Ende fein und schneidenartig zugeschärft. Sie sind auch mit ihrem oberen Ende gegen die Richtung der Bewegung geneigt und fahren leicht über die Quecksilberfläche hin. Um diesen Contact vollkommen sicher zu machen, müssen sie täglich an ihrer Spitze durch Eintauchen in Kupfervitriollösung verkupfert werden. Ferner muss das Quecksilber so rein als möglich sein und daher täglich erneuert werden. Sind dann die Spitzen gut eingestellt, so ist der Contact sicher und an dem Quecksilber ist während der Rotation kaum eine Spur von Schwankung wahrzunehmen."

Die Anordnung der Versuche mit diesem Rheotom wird durch die Fig. 7 derselben Tafel verdeutlicht.

A ist das Rheotom, dessen Rad durch zwei Speichen ersetzt ist, welche die Spitzen p, p_1 und p_2 tragen; *d* ist der Draht, der bei Berührung mit p den primären Kreis schliesst. Er kann über den ganzen Umfang des Rades verschoben werden. *K* ist die Kette des primären Kreises, P_1 die Haupt-, P_2 die Nebenrolle. P_1 ist einerseits mit dem Pol der Kette, andererseits mit dem Drahte *d* verbunden. Der andere Pol der Kette geht zu dem in der Quecksilberrinne (siehe oben *n n*) liegenden Draht *e*. Da der Schluss des Stromes zu kurze Zeit dauert (etwa $^1/_{20000}$ Secunde), so erreicht der Strom in Folge der Induction nicht seine volle Höhe. Es muss daher eine ziemlich starke Kette, etwa 5—6 Grove's, zur Speisung des Inductionsapparates genommen werden. Auch dürfen in P_1 keine Magnetkerne sich befinden, da sie den Verlauf des Inductionsstromes verzögern.

Die Enden *r r* der secundären Spirale P_2 liegen an dem Nerv *N N* an; ein Schlüssel S_2 ist in der Leitung eingeschaltet. *R R* ist ein 5 Fuss langer, 2 Mm. dicker Kupferdraht, der in der bekannten Weise als eine Nebenschliessung für den Strom des Daniell'schen Elements *D* im Kreis des Galvanometers *G* eingeschaltet ist. *W* ist eine Wippe und S_1 ein Schlüssel zur Ausschaltung des Nerven aus dem Galvanometerkreis. *Q* ein Quecksilberschluss, um den Strom des Daniell'schen Elements zu unterbrechen; *l* und *q* unpolarisirbare Thonspitzen, die den Strom vom Längs- und Querschnitt des Nerven zur Bussole ableiten. *S* und *s* zwei Quecksilbernäpfe, die einerseits mit den Quecksilbernäpfen q_1 und q_2 des Rheotoms, andererseits durch den Schlüssel S_1 mit dem Nerven und dem Galvanometerkreis verbunden sind. Taucht man in diese Näpfe *S s* den abnehmbaren Bügel *b* und ist der Schlüssel S_1 geöffnet, so geht der Nervenstrom sowohl, wie der vom Daniell'schen Elemente herrührende compensirende Stromzweig durch die Bussole. Ist dieser Bügel entfernt, so kann dieser Kreis nur durch das Eintauchen der Spitzen p_1 und p_2 in die Näpfe q_1 und q_2 geschlossen werden.

Es ist oben die am Rheotom gegebene Möglichkeit hervorgehoben, die Zeit dieses Schlusses durch Verschieben der beiden Näpfe gegen einander zu variiren. Die Grösse dieser Zeit kann bestimmt werden mit Hilfe des Schiebers, auf welchem der Draht *d* ruht, und der am Rande des Rades *S* angebrachten Theilung.

Jeder Grad dieser Theilung bedeutet $^1/_{100}$ Umdrehung, jeder Grad des Nonius $^1/_{1000}$. Bei bekannter Umdrehungszeit lässt sich also die Entfernung der beiden Näpfe auf die Zeit beziehen. Dazu leitet man durch den Galvanometer den Strom einer schwachen Kette, die durch das Eintauchen der Spitzen p_1 und p_2 in die Näpfe q_1 und q_2 geschlossen wird. Bei an den Draht *d* festgeklemmter Spitze p wird das Rad mittelst der Schraube des Schiebers langsam verschoben. Zuerst wird die Stellung an der Theilung und dem Nonius abgelesen, wenn der Ausschlag der Nadel erfolgt und dann, wenn die Nadel zur Ruhe kommt. Die Differenz dieser beiden Stellungen giebt dann mit Hilfe der Umdrehungsdauer die Zeit *t* an, während welcher der Strom geschlossen bleibt.

Ebenso wichtig ist es, die Zeit *T* genau bestimmen zu können, welche vergeht zwischen dem Auslösen des Reizes, also zwischen der Berührung von p und *d*, und dem Momente, in welchem der Bussolenkreis geschlossen und geöffnet wird, also p_1 p_2 in die Näpfe ein- und austauchen. Auch diese Bestimmung wird mit Hilfe des Schiebers in ähnlicher Weise ausgeführt.

Mit Hilfe dieses Differentialrheotoms lassen sich über den zeitlichen Verlauf der negativen Stromesschwankung die verschiedenartigsten Ermittelungen erhalten. Man kann durch Verschiebung des Drahtes *d* auf verschiedene Entfernungen von den Stellen, wo der Schluss des Nervenkreises geschieht, sowohl die Dauer der negativen Schwankung messen, als auch einzelne beliebige Stücke aus der Schwankungscurve zur Beobachtung bringen. Man kann durch Anlegen der Elektroden auf zwei Nervenstellen, die sich in verschiedener Entfernung von der abgeleiteten Nervenstrecke befinden, auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der negativen Schwankung erhalten. Endlich lässt dieses Verfahren auch die Möglichkeit zu, die „Reizwelle" ihrer Höhe und Länge nach zu construiren. Man verschiebt dazu die eine Elektrode am Längsschnitte des Nerven auf verschiedene Abstände von der Reizstelle und beobachtet so an verschiedenen Nervenstellen den Moment des Erscheinens der negativen Schwankung, sowie auch deren Grösse.

Mit einem Worte, diese Methode lässt die detaillirtesten Studien über den Vorgang der Nervenerregung zu; und in dieser Hinsicht hat Bernstein mit viel Scharfsinn und Ausdauer seine Methode nach allen Seiten hin ausgebeutet.

Bei der Beurtheilung der Zuverlässigkeit der mit dieser Methode zu gewinnenden Angaben sind aber einige Umstände in Betracht zu ziehen, die hier angeführt werden, nicht etwa um das Zutrauen zu den gewonnenen Resultaten zu vermindern, sondern um die Desiderate anzudeuten, welche bei der weiteren Ausbreitung der Bernstein'schen Methode noch zu erfüllen sind.

Zuerst sind einige Voraussetzungen bei den bisherigen Versuchen mit Hilfe dieser Methode stillschweigend gemacht worden, deren Zulässigkeit erst noch besonders geprüft werden müsste. Die erste besteht darin, dass die zwei Ströme, welche das Vorbeistreifen der Spitze *p* über den Draht *d* erzeugt, wegen ihrer schnellen Aufeinanderfolge als nur einen Reiz im Nerven auslösend betrachtet wurden.

Der Beweis für die Zulässigkeit dieser Voraussetzung fehlt noch. Um wirklich nur einen Schlag dem Nerven zu ertheilen, müsste eine Einrichtung getroffen werden, welche den einen Strom sofort vom Nerven abblendete. Freilich wäre dies bei Benutzung einer drehbaren Scheibe zum Schliessen und Oeffnen des Kreises und zur Ein- und Ausschaltung der Nerven, wenn überhaupt, so doch nur schwer erfüllbar. Darin befindet sich die Scheibe im entschiedenen Nachtheil gegen die zu ähnlichen Zwecken verwendeten Pendelvorrichtungen.

Da die einzelnen Reize keine beobachtbare Ablenkung der Nadel erzeugen, so muss bei diesen Versuchen der Schlüssel S_2 so lange offen gehalten werden, bis die verlangte Ablenkung, welche also der Summationseffect aller einzelnen Schwankungen ist, eintritt.

Die zweite gemachte Voraussetzung bestand also darin, dass die Stromesschwankungen, welche eine Reihe von Reizen im Nerven hervorruft, ihrem zeitlichen Verlaufe nach so genau zusammenfallen, dass man berechtigt ist, die einzelnen ausgeschnittenen Abschnitte aus der Schwankungscurve als für alle ertheilten Reize denselben zeitlichen und räumlichen Werth repräsentirend anzusehen.

Gegen das Zusammentreffen dieser Voraussetzung für alle Fälle konnte einiges Bedenken entstehen, da es wohl wahrscheinlich ist, dass mit der Ermüdung

des Nerven sowohl die Stärke, als der zeitliche Verlauf der negativen Schwankung sich ändern.

Die Bildungsweise der Contacte an dem Differentialrheotom lässt auch noch manche Vervollkommnungen zu. Einige sind auch schon von du Bois-Reymond an dem Bernstein'schen Rheotom angebracht worden. So änderte du Bois den Draht *d*, den er, anstatt aus Kupfer, aus Platin anfertigen lässt. Dies macht zwar den Contact vollkommener, hebt aber nicht alle Uebelstände einer solchen Contactvorrichtung auf.

Der vorbeistreifende Stift zerreisst den Draht schon oft nach 20—30 Anschlägen; dies beweist also, wie übrigens nicht anders denkbar, dass an dem Drahte eine heftige Zerrung ausgeübt wird. Schon nach dem zweiten oder dritten Anschlag muss er etwas verbogen oder geknickt sein. Mit jedem Anschlage wird daher der Contact, also auch die Stärke des primären Stromes geändert.

Auch der Contact der Spitzen p_1 und p_2 mit den Quecksilberoberflächen der Näpfe ist nicht ganz tadellos. Du Bois-Reymond hat sich schon veranlasst gesehen, die mit Kupfersulfat verkupferten und dann verquickten stählernen Spitzen abzuschaffen. Beim schnellen Durchstreifen durch das Quecksilber wird die Kupferhaut von ihnen schnell abgestreift. Er ersetzte sie durch zwei passend zugeschnittene Streifen Blattkupfer, die in einer Klemme aus Hartgummi und Stahl fixirt wurden. Diese Spitzen lassen sich vollkommen leicht verquicken und können mehrere Tage benutzt werden, besonders wenn man die Vorsicht gebraucht, sie in den Pausen zwischen den Versuchen nicht in das Quecksilber tauchen zu lassen.

Aber auch bei der Anwendung dieser Spitzen beobachtete du Bois-Reymond, dass die Grösse der Ablenkung des Bussolenspiegels bei ein und derselben Dauer des Schlusses einer Kette (gemessen durch den Abstand der Näpfe q_1 und q_2) mit der Zunahme der Umdrehungsgeschwindigkeit des Rheotoms sich ändert. Bernstein gedenkt auch selbst der Möglichkeit, dass die Spitzen bei grosser Geschwindigkeit dem Quecksilber eine gewisse Bewegung nach der Richtung der Drehung mittheilen könnten, welche auf die Dauer des Schlusses von Einfluss sein müsste. Aber sowohl er, als du Bois-Reymond lassen diese Möglichkeit nicht gelten, Letzterer weil bei seitlicher Betrachtung der Quecksilberkuppen keine Entstellung ihrer Flächen zu bemerken ist.

Vielmehr erklärt du Bois-Reymond die von ihm beobachtete Ungleichmässigkeit in den Ablenkungsgrössen bei Zunahme der Umdrehungsgeschwindigkeit als entstanden durch die Induction in den Rollen der Bussole selbst. Der sich in Folge dieser Induction entwickelnde Extrastrom giebt während der zu kurzen Dauer des Schliessens dem Strome keine Zeit zur Entwickelung. Die Richtigkeit dieser Erklärung bestätigte du Bois-Reymond dadurch, dass bei Einschaltung einer starken Kette und Ersatz der vielen Windungen der Bussole durch eine einzige Windung die Ablenkungsgrösse von der Geschwindigkeit unabhängig wurde.

Es würde sich aber jedenfalls lohnen, das Nichtvorkommen der Quecksilberverschiebung bei grossen Geschwindigkeiten noch direct nachzuweisen, da du Bois selbst zugiebt, dass, wenn dies der Fall wäre, „die Brauchbarkeit des Rheotoms zu Zeitmessungen sehr zweifelhaft sein würde".

Bei Versuchsanordnungen, die mit solcher Präcision die feinsten Vorgänge in

Nerven messen sollen, darf auch nicht die geringfügigste Fehlerquelle ohne Beachtung gelassen werden.

Am Schlusse dieses Paragraphen sollen noch einige Worte über die Beobachtungsweise der secundären Zuckung hinzugefügt werden.

Versuche über die secundäre Zuckung oder den secundären Tetanus werden entweder an dem stromprüfenden Froschschenkel oder an den mit dem Ischiadicus zusammenhängenden Gastrocnemius angestellt. Nur ganz frische muntere Frösche, am besten Mai- oder Octoberfrösche, eignen sich für diese Versuche.

Die Präparation der Nerven muss mit besonderer Sorgfalt und Schonung geschehen.

Die verschiedenen Combinationen in der Verbindungsweise der Präparate sind aus den Abbildungen der Taf. XXIV Fig. 7, 9, 10 und 11 klar. Auch die auf Taf. XLVIII Fig. 6 und 7 gegebenen Anordnungen der Versuche zur Beobachtung des secundären Elektrotonus eignen sich für die Demonstration der secundären Zuckung oder des secundären Tetanus.

Die Reizung des unmittelbar zu erregenden Nerven geschieht je nach dem Versuchszweck mit Hilfe einzelner Schläge eines beständigen Stromes oder der Wechselströme des Inductionsapparates. Die Vorsichtsmaassregeln, welche bei Anwendung dieser letzteren Reizweise zur Vermeidung der unipolaren Wirkungen erforderlich sind, werden im nächsten Paragraphen besprochen. Unterbindungen des unmittelbar erregten Nerven unterhalb der Reizstelle oder Durchschneidung dieses Nerven und Anlegung der beiden Stümpfe aneinander schützen übrigens vor Täuschungen.

Für die Demonstration der paradoxen Zuckung wird der N. ischiadicus mit seinen beiden Zweigen, dem N. peroneus und N. tibialis, herauspräparirt. Nur der eine dieser Zweige wird mit dem ihm zugehörigen Muskel isolirt. Gereizt wird der ohne Muskel isolirte Ast.

Secundäre Zuckung lässt sich auch vom Herzmuskel aus erhalten. Czermak, welcher zuerst durch Anlegung des Nerven des stromprüfenden Schenkels an das sich contrahirende Herz Zuckungen in diesem Schenkel erhielt, bediente sich des im zweiten Capitel beschriebenen elektrischen Doppelhebels zur Ankündigung dieser Zuckungen. Auch graphisch lassen sich diese secundären Zuckungen vom Herzen aus leicht mit Hilfe der in den nächsten Paragraphen beschriebenen Myographien darstellen. (Marey.)

Sehr belehrend ist die Demonstration der negativen Stromesschwankung bei den Contractionen des Herzens. (Meissner.)

Man verbindet zu diesem Behufe zwei Punkte des Herzmuskels mit den unpolarisirbaren Enden der Bussole und beobachtet regelmässige, genau mit den Contractionen des Herzens übereinstimmende Schwankungen des Magnetspiegels. Die Schwankungen des Spiegels werden dabei auf die in der ersten Abtheilung angegebene Weise auf einen Schirm projicirt.

Lässt man dabei durch zwei Personen die Zahl der Herzschläge und die Zahl der Magnetschwankungen laut zählen, so kann man zeigen, dass die negative Schwankung noch vor dem Sichtbarwerden der Contraction, also während deren Latenz erscheint.

Dasselbe lässt sich auch zeigen, wenn man durch Anlegen einer Stannius'schen Ligatur das Herz zum Stillstand bringt und dann durch leises Berühren der Herzoberfläche mit der Nadel einzelne Contractionen erzeugt. Die Schwingungen des Magnetspiegels lassen sich dann besser verfolgen und das Moment ihres Auftretens genauer bestimmen, besonders wenn man durch irgend ein Signal die jedesmalige Reizung anzeigt.

§ X. Methoden zur Erregung der Nerven und Muskeln und zur Prüfung ihrer Erregbarkeit.

Reizungen von Nerven werden bei physiologischen Versuchen zu den verschiedensten Zwecken ausgeführt, nach denen sich die jedesmal verwendete Methode richtet.

Die Reizungsmethoden lassen sich jedoch in zwei grosse Gruppen eintheilen; die eine kommt zur Verwendung bei der Erforschung der Erregungsvorgänge im Nerven selbst; die andere in den Fällen, wo der Nerv nur erregt wird, um andere von ihm beherrschte Organe zur Thätigkeit zu veranlassen.

Um an dem ausgeschnittenen Nerven den Erregungsvorgang zu studiren, giebt es nur einen Weg, das ist der im vorigen Paragraphen beschriebene, nämlich die Veränderungen seiner elektromotorischen Kräfte bei seiner Erregung mit Hilfe des Galvanometers zu verfolgen. Steht der Nerv noch in anatomischer Verbindung mit dem ihm zugehörigen Muskel, so kann man mit gewissem Vorbehalte auch aus den sichtbaren Veränderungen des Muskels über den Erregungszustand seiner Nerven Schlüsse ziehen.

Zur Hervorrufung des als Erregung bezeichneten Zustandes des Nerven bedient man sich der verschiedensten Reize: elektrischer, thermischer, chemischer und mechanischer. Nur die elektrischen Reize sind ihrer näheren Wirkungsweise nach genauer geprüft worden. Dies rührt hauptsächlich daher, dass sie weniger als alle anderen Reize die von ihnen getroffenen Theile erschöpfen oder für fernere Reizungen unbrauchbar machen. Ihre leichte Beherrschung und Abstufbarkeit, die intimen Beziehungen, welche zwischen ihnen und den elektrischen Kräften der thierischen Theile bestehen, gestatteten ihre Wirkungsweise am genauesten zu prüfen.

Die Mittel, elektrische Reize, mögen sie von constanten Ketten oder von Inductionsrollen herrühren, genau abzustufen, sind schon erschöpfend in der ersten Abtheilung dieses Capitels behandelt. Ein Rheochord als Nebenschliessung benutzt für die Abstufung der Ströme von beständigen Ketten und ein graduirter Inductionsapparat gestatten es, dem Nerven Reize von beliebiger Stärke zuzuführen.

Die zahlreichen beschriebenen Vorrichtungen zum Schliessen und Oeffnen, wie zum Umkehren der Richtung der Ströme, gestatten es, auch die Zahl, die Dauer und die Richtung der den thierischen Theilen zu ertheilenden Stromesschläge in den weitesten Grenzen zu variiren.

Hier sollen daher nur noch einige Versuchsanordnungen angeführt werden, die bei Reizungen von Nerven zu elektrophysiologischen Zwecken zu treffen sind.

Um die Zuckungsgesetze des Muskels zu demonstriren, muss man folgende Vorrichtungen besitzen: 1) eine Kette von 6—10 kleinen Grove'schen Elementen, 2) ein Rheochord von du Bois-Reymond, 3) einige Quecksilber- und Vorreiberschlüssel, 4) unpolarisirbare Elektroden, 5) eine Wippe, 6) ein Myographion zur

Aufzeichnung der Muskelcurven und 7) einen graduirten Inductionsapparat. Wünschenswerth sind noch Vorrichtungen zur Erzeugung gleichmässiger Oeffnungen und Schliessungen. Von den aufgezählten Vorrichtungen sind die unter 6 aufgeführten Myographien in den nächsten Paragraphen beschrieben, alle übrigen in der ersten Abtheilung dieses Capitels.

Den Reizelektroden kann man die verschiedensten Formen ertheilen, je nach den Bequemlichkeitsgründen, welche die feuchte Kammer des Myographions erheischt. Sollen gleichzeitig die Erregbarkeitsveränderungen des vom Strome durchflossenen Nervenstücks beobachtet werden, so bringt man an die Stelle, wo der Nerv zu liegen kommt, vier schmale Plättchen aus verquicktem Zink, die man zuerst mit schmalen Streifen mit Zinkvitriollösung durchtränkten Fliesspapiers und darauf mit kleinen in Kochsalzlösung getauchten Thonplättchen bedeckt. Jedes Zinkplättchen ist mit einer Doppelklemme verknüpft, die zur Aufnahme der Drähte bestimmt ist. Man kann so nach Belieben die Pole des stromprüfenden Inductionsapparates und der polarisirbaren Kette den gewünschten Stellen des Nervenlängsschnitts zuleiten.

Die Verbindungen der einzelnen Vorrichtungen geschieht folgendermaassen. Nachdem in der Batterie die Elemente nach einander verknüpft sind, verbindet man ihre beiden Endpole mit dem Umschalter, z. B. mit den Näpfchen *e* und *k* der Pohl'schen Wippe (Taf. XXXVIII Fig. 5).

Die zwei anderen Enden der Wippe *y* und *t* werden mit den Doppelklemmen *Q* und *P* des Rheochords (Fig. 2 derselben Tafel) verknüpft. In der Drahtleitung zwischen der Wippe und dem Rheochord wird ein Quecksilberschlüssel eingeschaltet.

In dieselben Klemmen *P* und *Q* legt man auch zwei Drähte ein, die zu dem Klötzchen *b* und *c* des Vorreiberschlüssels (Fig. 4 ders. Taf.) gehen. Die anderen Löcher desselben Klötzchen verbindet man mit den beiden stromzuführenden unpolarisirbaren Elektroden. Ist der Vorreiber gesenkt, so ist der Nerv aus der Leitung ausgeschaltet, wenn auch im Rheochorden der Kreis geöffnet wird.[1]) (Die Leitung zwischen Rheochord und Nerv wird als Nervenkreis, die zwischen Rheochord und der Kette als Hauptleitung bezeichnet.)

Das Nervenmuskelpräparat, welches man für den Nachweis des Zuckungsgesetzes benutzt, besteht aus dem Ischiadicus sammt dem Gastrocnemius.

Die Präparationsweise ist schon im Paragraph VIII beschrieben worden. Am Gastrocnemius wird sein oberer Ansatz sammt einem Stück Oberschenkelknochen erhalten zum Festklemmen in die Pincette des Myographions (s. u.).

Die nothwendigsten Versuche zur Erläuterung der Wirkungsweise der elektrischen Ströme auf die Nerven müssen, der Reihe nach, Folgendes demonstriren: 1) Erregung des motorischen Nerven bei Oeffnung und Schluss des Stromes, 2) Einfluss der Schwankung der Stromesintensität und der Stromdichte des reizenden Stromes auf die Erregung des Nerven, 3) Einfluss der Geschwindigkeit, mit

1) Nach einer Beobachtung von du Bois-Reymond ist es bei Anwendung des Rheochords nicht gleichgültig, ob die Schliessung oder Oeffnung in der Hauptleitung oder in dem Nervenkreise stattfindet. Letzteres ist immer vorzuziehen, wenn die angewendeten Elektroden die Möglichkeit der Polarisation nicht ausschliessen.

weiter diese Schwankungen geschehen. 4, polarisirende Einflüsse des den Nerven constant durchfliessenden Stromes auf seine Erregbarkeit. 5 Einfluss der Stromesrichtung und Stromesstärke auf diese Polarisation. 6 das Pflüger'sche Zuckungsgesetz mit den Correctionen von Wundt, 7 Beweise, dass beim Schluss des Stromes die Reizung an dem negativen Pol, beim Oeffnen am positiven stattfindet.

Nur die Ausführungsweise einiger dieser Versuche bedarf noch besonderer Besprechung.

Die Versuche *ad 2* können in der verschiedensten Weise angestellt werden. Sehr lehrreich ist seiner Einfachheit wegen der folgende modificirte Marianini'sche Versuch. Der Nerv des stromprüfenden Froschschenkels wird auf die Bäusche der unpolarisirbaren Zuleitungsgefässe in der gewöhnlichen Weise aufgelegt, der Unterschenkel wird auf den du Bois'schen Träger s. o., mit Kautschukringen befestigt und die beiden Zuleitungsgefässe werden mit den Polen einer Kette verbunden. Der Froschschenkel, dessen Nerv so vom Strom durchflossen wird, bleibt ruhig.

Führt man nun plötzlich eine Nebenschliessung in den Kreis ein, indem man einen Zinkbogen in die Gefässe ein- und austaucht, so erhält man jedesmal Zuckungen des Froschschenkels.

Der Einfluss der Geschwindigkeit, mit welcher die Intensitätsschwankungen der Reizströme stattfinden, kann, wenn auch auf minder vollkommene Weise, mit dem gewöhnlichen Rheochord demonstrirt werden.

Das allmähliche Verstärken oder Schwächen des Stromes durch Verschieben des Rheochordschlittens auf der Drahtleitung erzeugt keine Wirkung auf den Nerven, während hingegen das plötzliche Entfernen des ersten Stöpsels zwischen s_1 und s_2 oft schon Zuckungen hervorruft, obgleich in beiden Fällen gleich starke Nebenschliessungen eingeschaltet werden. Doch ist der zweite Theil des Versuchs nicht immer von Erfolg gekrönt, hauptsächlich weil die Unterbrechung durch Herausnahme des Stöpsels nicht schnell genug ausgeführt werden kann.

Viel sicherer geschieht dies mit Hilfe des zu diesem Zwecke von du Bois-Reymond construirten Schwankungsrheochords.

Dieses Rheochord ist auf Taf. XLIII Fig. 1 und 2 abgebildet; das Schema auf Taf. LXII Fig. 3 zeigt seine Anwendungsweise.

Auch in diesem Schwankungsrheochord wird zum Erzeugen von Schwankungen des den Nerven durchfliessenden Stromes die Ein- oder Ausschaltung einer Nebenleitung verwendet. Diese Ein- oder Ausschaltung kann aber mit grosser Geschwindigkeit hervorgebracht werden.

Ein Holzbrett trägt zwei messingene Winkelstücke *O* und *U*, zwischen denen ein 0,2 Mm. dicker Eisendraht *ns* ausgespannt ist.

Zwei stählerne Drähte *f d* und f_1 d_1 sind an beiden Seiten dieses Drahtes befestigt und dienen zur Führung des kleinen Schlittens mit dem Quecksilberrohr *Q R*. Der Deckel *R* lässt sich abschrauben, um die Röhre mit Quecksilber von Zeit zu Zeit frisch nachzufüllen.

Der Eisendraht *ns* durchbohrt dieses stählerne Rohr *Q R*, sowie den Deckel; die Durchbohrungslöcher sind mit Kork gefüttert. An dem Schlitten, ist ein umsponnener Kupferdraht befestigt, der als Leitung benutzt wird. Die untere Fläche des Schlittens besitzt einen doppelten Sperrhaken, der, wie Fig. 2 Taf. XLIII lehrt,

in entsprechende federnde Haken der Winkelstücke O und U eingreifen kann. Dadurch kann der Schlitten festgehalten werden. Die Stecher σ, σ' können diese federnden Haken niederdrücken und so den Schlitten befreien.

Die Bewegung des Schlittens geschieht in der Richtung des Pfeiles von oben nach unten und wird hervorgebracht durch die Zusammenziehung des früher gedehnten Kautschukschlauchs $K\ S$, der mittelst einer über zwei Rollen gehenden Darmsaite mit dem Schlitten verbunden ist. Das Ende S des Schlauches wird mittelst einer im Schlitze des Grundbrettes beweglichen Schraube festgestellt. Gespannt wird der Schlauch dadurch, dass man den Schlitten zum oberen Anschlag O führt und dort einhakt.

Drückt dann der Stecher σ' den federnden Haken herunter, so läuft der Schlitten die Bahn des Neusilberdrahtes mit grösserer oder kleinerer Geschwindigkeit herunter, je nach dem Spannungsgrade des Kautschukschlauchs. Der Schlitten wird dabei unten von dem Haken des Anschlages U aufgefangen und festgehalten. b und b' sind zwei Kupferbolzen, deren Nutzen aus der Versuchsanordnung verständlich wird.

Fig. 3 der Taf. XLII zeigt die Versuchsanordnung bei Gebrauch dieses Schwankungsrheochords. $S\ R$ ist dieses Rheochord, $H\ R$ und $K\ R$ zwei gewöhnliche Rheochorde von du Bois-Reymond; das erste wird als Hilfsrheochord, das zweite als Kettenrheochord bezeichnet.

Die Verbindungsweise der Rheochorde mit dem Nervenmuskelpräparat und der Kette ist aus der Zeichnung klar. Die abgebildete Anordnung zeigt diese Verbindungen, wenn es gilt, den Effect einer positiven Schwankung, d. h. einer Verstärkung des reizenden Stromes zu beobachten. Steht der Schieber Σ des Hilfsrheochords auf Null und berührt der Schlitten den Anschlag O, dann verschwindet die Stromdichte im Nerven, da die Nebenschliessung aus diesem Anschlag, dem Quecksilberrohr, dem Kupferbolzen und der Reihe der durch Schieber und Stöpsel verbundenen Klötze von α bis β, nur sehr geringen Widerstand bietet. Lässt man jetzt den Schlitten des Schiebers auf dem Rheochord $O\ U$ los, so wächst plötzlich der Strom im Nerv an und zwar um eine Höhe, die von dem Widerstande des Drahtes $N\ S$ bedingt ist.

Bei dieser Anordnung unterscheidet sich der Vorgang des Stromanwachsens nur wenig von dem beim einfachen Schliessen einer Kette entstehenden. Man kann aber dieses Anwachsen anstatt von Null von jeder beliebigen im Nerven bereits vorhandenen Stromdichte beginnen. Es genügt dazu vor dem Beginne des Versuchs im Hilfsrheochorden einen beliebig grossen Widerstand einzuschalten.

Will man eine negative Schwankung erzeugen, so braucht man nur die Stellung der Rheochorde $H\ R$ und $K\ R$ umzutauschen; d. h. $K\ R$ mit dem Bolzen bei O zu verbinden und $H\ R$ mit dem Bolzen des unteren Anschlags bei U. Auch hier kann man auf eine ganz ähnliche Weise, wie vorher, die Schwankung von der Stärke, welche dem Nebenschliessdrahte $N\ S$ entspricht, auf Null, oder von irgend einer durch den Hilfsrheochord erzeugten grösseren Stromdichte auf eine geringere herunterbringen.

Diese Vorrichtung könnte auch benutzt werden, um den Einfluss zu zeigen, welchen die absoluten Höhen der Stromdichten, zwischen denen eine gegebene Schwan-

kung stattfindet, auf die Stärke der Erregung auszuüben vermag [1]. Sie müsste nur einige Modificationen erleiden, um hauptsächlich die Schwankungen der Widerstände abzuschaffen, welche an der Berührungsstelle zwischen Quecksilber und Eisendraht nebst der Eisenröhre stattfinden und auch bei unbeweglichem Stand des Schlittens und geschlossenem Kreise Zuckungen in den Muskeln erzeugen.

Bei den Prüfungen der Wirkungen, die ein in verschiedener Richtung den Nerven durchfliessender Strom auf seine Erregbarkeit auszuüben vermag, könnte als einzig genaues Maass nur die Grösse der negativen Stromesschwankung gelten, welche der Nerv auf einen gleichbleibenden Reiz giebt. Die Umständlichkeit bei der Beobachtung der Stromesschwankungen und auch die relativ kurze Lebensdauer, die ein ausgeschnittener Nerv geniesst, bedingen es, dass man häufig sich eines anderen Maasses bedient, nämlich der Stärke der bei gleichbleibendem Reize eintretenden Muskelcontraction.

Trotzdem die Abhängigkeit der Zuckungsgrösse von der Erregbarkeit des Nerven nur eine mittelbare, noch durch andere Variable (die Anspruchsfähigkeit des Muskels, seine Leistungsfähigkeit u. s. w.) bedingte ist, so kann doch unter gewissen Bedingungen diese Grösse als Maass für die Nervenerregbarkeit benutzt werden. Bleiben nämlich während dieser Prüfung die Bedingungen (wie Belastung, Temperatur und Zusammensetzung der äusseren Luft), unter denen der ausgeschnittene Muskel arbeitet, unverändert, dauert die Prüfung nur eine kurze Zeit, während welcher keine irgend in Betracht kommenden Ermüdungserscheinungen im Muskel auftreten können, und verändert man dabei nur die Erregbarkeitsbedingungen der Nerven, so werden durch die Höhen der Muskelzuckungen die wirklichen Veränderungen der Nervenerregbarkeit ausgedrückt.

Die Prüfung der Erregbarkeit kann auf verschiedene Weise ausgeführt werden: entweder man leitet successive dem Nerven einen constant bleibenden mittelstarken Reiz zu und beobachtet, wie unter dem Einfluss der willkürlichen Variabeln die Höhe der Muskelzuckung sich ändert; oder man wählt die geringste Stromesstärke, welche gerade genügt, um die schwächste Zuckung zu veranlassen, und beobachtet, ob bei der Einwirkung verschiedener Einflüsse auf den Nerven diese minimale Stromesstärke verstärkt oder vermindert werden muss (Rosenthal). Bei Versuchen über die Erregbarkeitsveränderungen des polarisirten Nerven ist die erste Methode unbedingt vorzuziehen. Aber auch bei anderweitigen Versuchen, die eine graphische Aufzeichnung der Muskelzuckungen zulassen, ist die letztere Methode besser zu meiden. Man muss bei Aufsuchung der minimalen Reizstärke den Nerven mehreren Reizungen unterwerfen, die an sich allein schon nicht ohne Einfluss auf seine Erregbarkeit sind. Dies um so mehr, als die Anspruchsfähigkeit

1) Den Einfluss gleicher Stromesschwankungen bei verschiedener bereits im Nerven herrschender Stromdichte hat schon Eckhard auf eine sinnreiche Weise durch Aufnahme der Nebenrolle eines Inductionsapparates in den Nervenkreis zu erforschen gesucht. Pflüger hat zu demselben Zweck auch die Nebenrolle des Inductionskreises in den Nervenkreis des Rheochords eingeschaltet. Er erzielte damit die Möglichkeit, die beständige Stromdichte im Nerven abzustufen, ohne den Widerstand des Kreises merklich verändern zu müssen. In letzterer Zeit hat O. Nasse zu ähnlichen Zwecken sich zweier gewöhnlicher Rheochorde bedient, mit denen er durch eine dem Pflüger'schen Fallhammer ähnliche Vorrichtung plötzliche Ein- und Ausschaltungen von Widerständen erzeugte.

des Muskels hier eine directere Rolle spielt als bei Reizung mit mittelstarken Reizen, wo die Zuckungshöhe von der leichter beherrschbaren Leitungsfähigkeit des Muskels bedingt ist. Auch kann man viel genauer die Unterschiede in der Höhe der aufgezeichneten Muskelzuckungen messen, als mit dem Augenmaass entscheiden, wann eine Muskelzuckung eintritt und wann sie ausbleibt.

Die Elektroden, welche den Reiz zuführen, müssen unpolarisirbar[1]) sein und die gleiche Entfernung bei jeder neuen Prüfung behalten. Die Zahl und Dauer der Stromstösse, welche durch sie dem Nerven ertheilt werden, muss genau dieselbe bleiben; die Dauer der Anfangs- und Endströme bei Gebrauch von Inductionsapparaten muss durch die schon besprochenen Kunstgriffe ausgeglichen werden.

Am zweckmässigsten und genauesten ist es, mit Hilfe der in der ersten Abtheilung dieses Capitels besprochenen Vorrichtungen dem Nerv nur einzelne absolut gleiche Stromstösse in regelmässigen Intervallen zu ertheilen.

Die Ausführungsweise der Pflüger'schen Versuche über den Eintritt oder das Ausbleiben der Zuckungen bei Oeffnen oder Schliessen der Ströme von verschiedenen Richtungen und Stärken bedarf nach dem Vorhergehenden keiner weiteren Auseinandersetzung. Es sollen nur einige Versuchsanordnungen angegeben werden, die theils für die historische Entwickelung der Elektrotonuslehre, theils als anschauliche Belege für das Gesetz, dass beim Schluss des Stromes die Reizung nur am negativen, beim Oeffnen nur am positiven Pol stattfindet, für Demonstrationen sich empfehlen.

Zu den ersten gehören die Versuche von Valentin und Eckhard, zu den letzteren der Versuch von Chauveau mit Durchtrennung des Nerven in der intrapolaren Strecke und der Pflüger'sche Versuch über den Ritter'schen Tetanus.

Der Valentin'sche Versuch wird in der Weise ausgeführt, dass an den Ischiadicus in der Kniekehle zwei unpolarisirbare Elektroden angelegt werden, die mit den Polen einer stärkeren beständigen Kette verbunden sind; der Strom dieser Kette kann mit Hilfe eines Schlüssels geschlossen oder offen gelassen werden. Eine Wippe dient zur Umschaltung der Stromrichtung. An den Beckentheilen des Ischiadicus werden die zwei Elektroden des Inductionsapparates angelegt, der zur Prüfung der Leitungsfähigkeit der polarisirten Nervenstrecke dient. Anstatt dieser Reizelektroden kann man an diesen Enden des Ischiadicus auch chemische Reize (concentrirte Kochsalzlösungen etc.) bei sonst gleichbleibenden Versuchsbedingungen verwenden (Eckhard). Welcher Art der prüfende Reiz auch ist, die Prüfung geschieht zuerst bei geöffneter und dann bei geschlossener polarisirender Kette.

Der Pflüger'sche Versuch mit dem Ritter'schen Tetanus wird in der Weise ausgeführt, dass durch die Nerven zweier stromprüfender Froschschenkel ein ziemlich starker Strom durchgeleitet wird, und zwar in dem einen Nerv in auf-, in dem anderen in absteigender Richtung. Werden nun die Ströme unterbrochen und der Ritter'sche Tetanus tritt in ihnen auf, so durchschneidet man die beiden Nerven in der intrapolaren Strecke. In dem Präparate, dessen Nerv aufsteigend

1) Der Gebrauch der mit Eiweiss durchtränkten Fäden als unpolarisirbarer Stromzuleiter ist aus mehreren Gründen nicht zu empfehlen.

durchflossen wurde, wird der Tetanus durch diese Durchschneidung nicht beeinflusst; in dem anderen, dessen positiver Pol mit dem Muskel nicht mehr im Zusammenhange ist, hört der Tetanus auf.

In ähnlicher Weise wird der Versuch von Chauveau ausgeführt. Während des Durchflossenseins zweier mit dem Unterschenkel verbundener Nerven durch starke Ströme in entgegengesetzter Richtung, wird der Nerv in der intrapolaren Strecke unterbunden. Unterbricht man darauf den Strom, so entsteht die Zuckung nur im aufsteigend durchflossenen Präparate.

Als sehr instructiv für Vorlesungszwecke ist auch die Wiederholung einiger Fick'scher Versuche über die Abhängigkeit der Nervenerregung von der Stärke und der Dauer des den Nerv treffenden Reizes. Für beide Versuchsweisen ist die graphische Aufzeichnung der Muskelzuckung durchaus erforderlich. Der Gebrauch eines graduirten Inductionsapparates für die erste Versuchsgruppe, einer durch ein Rheochord abstufbaren constanten Kette für die zweite, geschieht nach den bekannten Regeln. Unentbehrlich für diese Versuche ist ein Apparat, der die Unterbrechung des Stromes mit immer gleicher Geschwindigkeit ausführt und ein zweiter, welcher die Dauer des Stromschlusses beliebig zu variiren gestattet. Für beide Zwecke eignet sich der in § II beschriebene Ludwig'sche Pendelunterbrecher ganz vorzugsweise gut. Seine Einstellung und Handhabung je nach dem Versuchszwecke, zu dem er gebraucht wird, ist schon oben angegeben.

Die Einfachheit des Gesetzes, nach welchem die Höhen der Zuckungen mit der Stärke der Nervenerregung zunehmen, dient gleichzeitig als anschaulicher Beweis, dass man berechtigt ist, bei Beurtheilung der Stärke der Nervenerregung die Höhe der Zuckungen als Maass zu gebrauchen. „Wir sehen die drei variablen Grössen Reiz, Erregung, Muskelarbeit, in derartiger Abhängigkeit von einander, dass das Wachsen der einen proportional ist dem Wachsen einer jeden von den beiden anderen," schliesst Fick aus seinen schönen Untersuchungen über die Abhängigkeit der Muskelarbeit von der Stärke der Nervenreizung.[1])

Bei allen Reizungen der Nerven mit Inductionsschlägen, zu welchem Zwecke sie auch geschehen mögen, muss ganz besondere Sorgfalt auf Vermeidung unipolarer Reizungen verwendet werden. Unipolare Reizungen entstehen bekanntlich sehr leicht bei Anwendung stärkerer Inductionsströme, wenn ein thierischer Theil als Leiter von grosser Oberfläche entweder mit dem einen Pole der Inductions-

---

1) Versuche über die Veränderungen der Nervenerregbarkeit unter dem Einfluss des polarisirenden Stromes lassen sich, obgleich mit grossen Schwierigkeiten, auch am Menschen anstellen. Damit diese Versuche irgendwelche beweisende Kraft besitzen, ist es erforderlich, sie genau mit denselben Vorsichtsmaassregeln, wie beim ausgeschnittenen Nervenmuskelpräparat, anzustellen, also exacte Messung der Muskelcontractionen mit Hilfe des Myographions, genaue Abstufung der verwendeten Reize, gleiche Entfernung der reizzuführenden und der polarisirenden Elektroden von einander u. s. w. Es leuchtet ein, dass nur wenige Nerven unseres Körpers sich für so exacte Versuche eignen. Der N. ulnaris mit dem von ihm innervirten M. adductor pollicis giebt das entsprechende Nervenmuskelpräparat. Mein im nächsten Paragraph beschriebenes Myographion eignet sich für die Aufzeichnung der Zuckungscurve dieses Muskels sehr gut. Genaueres über die Ausführungsweise solcher Versuche findet sich bei der Beschreibung meiner darauf bezüglichen Untersuchungen in „Principes d'Electrothérapie". Paris 1870. p. 130 u. f.

rolle verbunden ist, während der andere Pol zur Erde abgeleitet ist, oder wenn der Nerv auf dem Wege, welcher den Leiter mit der Erde verbindet, gelegen ist.

Dies sind die häufigsten Fälle, in welchen sich unipolare Wirkungen zeigen können. Sie entstehen aber auch, wenn gar keine Ableitung zur Erde stattfindet, sondern wenn nur ein Pol der offenen Nebenrolle mit einem isolirten Leiter von grosser Oberfläche in leitender Verbindung steht. Liegt der Nerv auf dem Wege zwischen diesem Pol und dem isolirten Leiter, so wird er von der in denselben sich ergiesenden freien Elektricität erregt werden.

Der Entdecker der unipolaren Inductionszuckungen, du Bois-Reymond, hat noch eine Reihe anderer Umstände aufgehellt, die das Auftreten dieser Zuckungen begünstigen. Berührt man den Schenkel eines auf isolirter Glasplatte liegenden stromprüfenden Froschapparates, dessen Nerv mit dem einen Pol der offenen Nebenrolle verknüpft ist, so entstehen in dem Schenkel Zuckungen jedesmal, wenn der primäre Kreis geschlossen oder geöffnet wird. Umgekehrt kann man bei derselben Verbindungsweise des Nerven und bei periodischem Unterbrechen des primären Kreises, z. B. durch einen Wagner'schen Hammer, jedesmal in dem Schenkel Zuckungen hervorrufen, wenn man ihn mit dem Finger berührt, also wenn der im Zustande hoher Spannung befindlichen Elektricität die Möglichkeit zur Ableitung gegeben wird.

Wie du Bois-Reymond sich überzeugt hat, genügt sogar das blosse Hinhalten der Finger in die Nähe des Schenkels, um Zuckungen zu erzeugen. Diese letztere Erscheinung ist neuestens von Zahn in Helmholtz's Laboratorium zum Gegenstand einer sorgfältigeren Prüfung gemacht geworden. Zahn erweiterte die du Bois'sche Beobachtung insofern, als er unipolare Inductionswirkungen nicht nur bei Verbindung mit einem Leiter von grosser Fläche, wie z. B. dem menschlichem Körper, sondern auch durch Annäherung eines neutralen oder entgegengesetzt elektrischen Körpers erzeugte. In beiden Fällen wird nämlich, wenn auch in verschiedener Weise, die Ableitungsgrösse des Schenkels vergrössert, also die Entstehung unipolarer Wirkung befördert.

Die Demonstration der unipolaren Wirkungen ist in hohem Grade nützlich, insofern sie am besten die Gefahren unvorsichtigen Umgangs mit Inductionsströmen veranschaulicht. Das Hervorrufen der unipolaren Zuckungen bei blosser Annäherung der einen Hand gelingt viel leichter, wenn gleichzeitig mit der andern Hand der zweite Pol der Nebenrolle zur Erde abgeleitet wird. Es genügen in diesem letzteren Falle auch viel schwächere Ströme. Dass die Zuckung dabei nicht etwa durch Ueberspringen von Funken von der sich nähernden Hand auf den thierischen Theil, oder durch Herstellung einer Leitung durch die feuchte Luft etc. entsteht, wird einfach dadurch bewiesen, dass eine Glasplatte zwischen dem letzteren und der Hand eingeschoben wird.

Von den Versuchen, welche Zahn in dieser Richtung angestellt, ist besonders folgender der Wiederholung werth.

In eine Glasröhre, deren oberer äusserer Rand mit Stanniol beklebt ist, legt man den stromprüfenden Schenkel hinein und verbindet dessen Nerv mit dem einen Ende der offenen Inductionsrolle. Wird nun das andere Ende der Rolle durch Berührung mit der Hand zur Erde abgeleitet, so entstehen Zuckungen nur beim Gebrauch mittelstarker Ströme. Dagegen genügen schon schwächere Ströme,

um dieselbe Wirkung zu erzielen, wenn, anstatt vom freien Ende, die Ableitung von der Stanniolbekleidung gemacht wurde. Ganz schwache Ströme riefen schon Zuckungen hervor, wenn das freie Ende der Rolle mit dem Stanniolbeleg verbunden wurde. Leitet man dabei von dem Pole, der mit dem Nerven verbunden ist, oberhalb dieser Verbindungsstelle ab, so sind auch die mächtigsten Ströme nicht im Stande, unipolare Zuckungen hervorzurufen, gleichgültig, ob auch das freie Ende der Nebenrolle dabei abgeleitet ist oder nicht.

Diese letzte Versuchsmodification ist insofern wichtig, als sie gleichzeitig auf eines der Mittel hinweist, um dem Auftreten der unipolaren Wirkungen vorzubeugen. Unipolare Reizungen kommen nämlich auch vor, während der Nerv durch Verbindung mit den beiden Polen der Nebenrolle gereizt wird, indem dabei gleichzeitig der elektrische Strom sich am Nerven selbst oder an den umliegenden Theilen weiter verbreitet und entferntere Organe reizt, die gar nicht in physiologischer Abhängigkeit zu dem betreffenden Nerven stehen. Dies kommt besonders leicht vor bei Reizungen von Nerven, die noch mit dem übrigen Körper in Verbindung stehen, weil dann der Körper die grosse leitende Fläche abgiebt, deren Anwesenheit den unipolaren Wirkungen so günstig ist. Man sichert sich in solchen Fällen dadurch, dass man von den oberen Elektroden oberhalb ihrer Verbindung mit dem Nerv eine gute Ableitung zur Erde herstellt, indem man sie z. B. durch einen dickeren Draht mit der Röhre der Wasser- oder Gasleitung verknüpft.

Während der Pausen zwischen den Reizungen genügt es zum Schutz vor unipolaren Wirkungen den Nerv bei offenem Kreise nicht mit der einen Elektrode in Verbindung zu lassen, sondern eine gute Nebenschliessung im Kreise der Nebenrolle herzustellen. Bei der Reizung des Nerven wird diese Nebenschliessung geöffnet. Wird also z. B. der Vorreiberschlüssel von du Bois-Reymond zum Oeffnen und Schliessen der Nebenrolle verwendet, so darf man den Vorreiber nur als Nebenschliessung benutzen. Er wird also in den Kreis in der Weise eingeschaltet, dass die zwei Drahtenden der Nebenrolle mit den Klötzen *b* und *c* (Fig. 4 Taf. XXXVIII) verbunden werden. Zwei andere Drähte verknüpfen dann die beiden stromzuführenden Elektroden mit diesen Klötzen. Ist der Vorreiber *d* gesenkt, so bildet er eine Nebenschliessung von verschwindendem Widerstande für den Nervenkreis; wird er vom Contact mit dem Klotz *b* entfernt, so wird die Nebenschliessung aufgehoben und der Strom der Nebenrolle durchfliesst den Nerven.

Dagegen ist es streng zu vermeiden, bei Benutzung dieses Schlüssels für solche Fälle die Verbindung so herzustellen, dass der eine Pol der Nebenrolle direct zum Nerven, der andere zum Klotz *b* und dann bei gesenktem Vorreiber *d* durch den Klotz zur zweiten Elektrode geht. (S. § II.) Bei dieser Verbindungsweise ist das Eintreten unipolarer Reizungen unvermeidlich.

Sehr zweckmässig ist es, einen solchen Vorreiber an die Klemmen anzubringen, welche die Pole der Nebenrolle aufnehmen. Man hat dann die bequemste Art eine Nebenschliessung für den Nerven herzustellen. Es ist auch rathsam einen zweiten solchen Vorreiber an die Klemmen der Hauptrollen anzubringen, die zur Ableitung des Extracurrents dienen.

Um gesichert zu sein, dass die bei Reizung der Nerven erzielten Effecte wirklich directe Folgen der im Nerven stattgefundenen Erregung und nicht etwa durch Fortleitung des elektrischen Stromes auf die benachbarten Theile erzeugt

sind, durchschneidet man den Nerven unterhalb der Reizstelle und legt die beiden Stümpfe neben einander oder unterbindet ihn mit einem feuchten Faden.

Da damit die Bedingung für die Fortpflanzung der Nervenerregung, nicht aber die Leitungsfähigkeit des Nerven für den elektrischen Strom aufgehoben wird, so muss jetzt bei erneuter Reizung des Nerven der frühere Erfolg ausbleiben, wenn er Folge der Nervenerregung war; er bleibt dagegen bestehen, wenn er durch Verbreitung von Stromesschleifen erzeugt wurde. Man muss aber mit der Schlussziehung aus diesem Gegenversuch etwas vorsichtiger zu Werke gehen, als es gewöhnlich zu geschehen pflegt. Bleibt nämlich der Effect der Reizung nach einer solchen Unterbindung oder Durchschneidung aus, so ist dies jedenfalls ein Beweis dafür, dass man es mit einem Effecte directer Nervenerregung zu thun gehabt hat. Dagegen ist das Bestehenbleiben des Effectes nach der Unterbindung nicht absolut beweisend, dass man es nur mit einer Fortleitung von Stromesschleifen zu thun gehabt hat; denn die Möglichkeit bleibt ja offen, dass die Stromesschleifen, welche die unterbundene oder durchschnittene Nervenstelle überschreiten, noch unterhalb derselben den Nerv in Erregung versetzen. Diese Eventualität ist zwar wenig wahrscheinlich, wenn die Reizung einen ausgeschnittenen Nerven betrifft, welcher nur mit seinem gut isolirten Muskel in Verbindung steht. Bei Reizungen von Nerven, die mit dem ganzen Thiere noch in Verbindung stehen, oder bei mangelhafter Isolation muss aber das Eintreten einer solchen Eventualität immerhin in Erwägung gezogen werden.

Die Aengstlichkeit vor Verbreitung von Stromesschleifen durch mangelhafte Isolation darf bei gewöhnlichen physiologischen Versuchen aber auch nicht zu weit getrieben werden. Ein einigermaassen erfahrener Experimentator wird wohl kaum in den Fall kommen, von Stromesschleifen getäuscht zu werden. Die glänzende Bewährung der Ludwig'schen Reizelektroden für tiefliegende Nerven ist am besten geeignet, das Gespenst der Stromesschleifen weniger erschreckend erscheinen zu lassen. Im Laufe der vorigen Capitel ist mehrmals hervorgehoben worden, welche ausgezeichnete Dienste diese Elektroden (Taf. IV Fig. 3 und 3*a*; siehe deren Beschreibung Seite 178) leisten, trotzdem Stromesschleifen, wenn auch ganz schwache, sich bei ihrer Anwendung in die umliegenden Theile verbreiten müssen.

Bei 6—8 Stunden langer Benutzung dieser Elektroden sogar zur Reizung so kurzer Nerven, wie die Nn. accelerantes, die doch von vielen anderen Nervenästen eng umgeben sind, tritt auch nicht die geringste Störung durch Nebenreizungen ein. (Baxt.)

Die grossen Vortheile, welche diese Reizweise, was Schonung der thierischen Theile und Bequemlichkeit des Handhabens betrifft, bieten, sind schon mehrmals betont worden.

Von anderen Elektroden, welche bei Reizungen gebraucht werden, sind noch mehrere auf Taf. IV abgebildet worden. Einige von ihnen (z. B. die von Fig. 16 und 14) dienen zu ganz speciellen Zwecken und werden an den betreffenden Stellen besprochen. Hier soll nur auf die Elektroden der Fig. 8, 7, 4 und 5 aufmerksam gemacht werden.

Die Elektroden der Fig. 8 sind die gewöhnlich zur Reizung oberflächlich gelegener Nerven benutzten. Sie bestehen aus zwei Kupferdrähten, die von

einander isolirt in einen längeren Griff aus Elfenbein oder Hartgummi verlaufen. An den für den Nerven bestimmten Enden sind diese Drähte etwas zugespitzt, an der anderen Seite laufen sie in lange biegsame, mit Seide oder Baumwolle besponnene Drähte über, welche mit Messingstäbchen (Fig. 11) zum Einklemmen enden.

Fig. 7 zeigt die zu demselben Zweck von Cl. Bernard verwendete Pincette. Sie besteht aus zwei Kupferplatten, welche bei *c* und *c'* Elfenbeineinfassungen besitzen und bei *b*, *b'* mit Platinspitzen enden. Diese federnden Platten sind durch ein Knochenstück von einander isolirt und besitzen zwei Klemmschräubchen *a* und *a'* zum Einlegen der Leitungsdrähte. Diese Pincette darf nur in derselben Weise, wie die Elektroden der Fig. 8, an den Nerven angelegt werden; d. h. sie müssen aus einleuchtendem Grunde mit beiden Spitzen nur mit zwei Stellen der Längsoberfläche des Nerven in Berührung gebracht werden.

Der im Zusammenhange mit den übrigen Theilen stehende Nerv wird, wenn er gereizt werden soll, zuerst mit einen Faden unterbunden und darauf so durchschnitten, dass der Unterbindungsfaden an dem Stumpfe hängen bleibt, der gereizt werden soll. An diesem Faden wird der Nerv dann aus der Wunde ohne Zerrung hervorgehoben und auf die Elektroden gelegt. Man hält dabei den Faden nur so weit in die Höhe, dass er durch Luft von den umgebenden Theilen isolirt ist; gewöhnlich ist es bequemer den Faden mit der linken und die Elektroden mit der rechten Hand zu fassen. Während der ganzen Dauer der Reizung müssen die Elektroden dem Nerven ganz genau anliegen.

Die in Fig. 4 und 5 abgebildeten pinces électriques von Cl. Bernard bestehen aus zusammengewundenen Zink- und Kupferdrähten und bedürfen nur einer Befeuchtung mit irgend einer schwachen Säure (z. B. Essig), um eine fertige Kette herzustellen. Bei Reizungen ausgeschnittener Nerven und Muskeln, wo es nur darauf ankommt durch Hervorrufung von Zuckungen das Vorhandensein der Erregbarkeit in diesen Theilen zu constatiren, sind diese Kettenelektroden insofern bequem, als man sie immer zum Verwenden bereit hat. Man braucht die Elektroden der Fig. 4 nicht einmal mit Essig zu befeuchten, um sie für diesen Zweck wirksam zu machen. Es genügt, sie durch Anlegung an die thierischen Theile mit einem feuchten Leiter zu verbinden.[1])

Am Schlusse seien noch einige Vorrichtungen erwähnt, welche bei Reizversuchen mit Vortheil verwendet werden können. Auf Taf. XLIII Fig. 2 ist der Zuckungstelegraph von du Bois-Reymond abgebildet worden, eine Vorrichtung, mittelst der die Muskelzuckung einem grösseren Zuschauerkreise sichtbar gemacht wird. Eine messingene Zange erfasst das mit dem Gastrocnemius herauspräparirte Oberschenkelstück und wird mit Hilfe der Schraube *s* an dem Messingarme des Stativs beliebig eingestellt. Die Sehne des Gastrocnemius wird an einem Haken befestigt. Mit diesem Haken ist eine Schnur verknüpft, die über eine Rolle läuft, welche an einer in einer Schlittenvorrichtung verschiebbaren Säule angebracht ist. Das andere Ende der Schnur trägt einen kleinen Messingeimer, in welchen Gewichte zur verschieden grossen Belastung des Muskels eingelegt werden. An der Rolle ist eine roth angestrichene Glimmerscheibe angebracht, welche bei Zuckungen des Gastrocnemius

1) Diese pinces-électriques sind den bekannten Pulvermacher'schen Ketten nachgebildet.

durch die Drehungen der Rolle auf- und niedergeht und so als Fahne zum Anzeigen der Muskelzuckung dient. Die Säule, welche die Rolle trägt, kann beliebig von der Zange entfernt werden, wodurch die Excursionen der Fahne regulirt werden. Die stromzuführenden Drähte sind auf die aus der Zeichnung sichtbaren Weise angebracht.

Die Vorrichtung 4 auf Taf. XLII dient zur bequemen chemischen Reizung des Muskels und zur leichten Beobachtung des Reizeffects. Auf die Glasplatte *g p* wird ein kleines Porzellannäpfchen gestellt, das mit der reizenden Flüssigkeit gefüllt ist. Oberhalb des Näpfchens hängt, in einer Pincette eingeklemmt, der Muskel (z. B. der Sartorius), mit den frisch angelegten Querschnitten nach unten gerichtet. Das Näpfchen kann diesem Querschnitte entweder plötzlich genähert werden durch Unterschiebung der Platte *g p* sammt der Hülse des Stativs, oder langsamer mit der auf der Zeichnung sichtbaren Mikrometerschraube. Um dabei die Zuckung des Muskels einem grösseren Kreise sichtbar zu machen, durchsticht ihn Rosenthal mit einem feinen Glasfaden, der einerseits mit einem leichten Papierfähnlein verbunden ist, andererseits einen Ring für den auf der Zeichnung sichtbaren Glashaken besitzt. Dieser Glasfaden bildet so einen leichten Füllhebel, dessen Drehpunkt am Haken gelegen ist.

Eine sehr zweckmässige Vorrichtung zur Demonstration der Thatsache, dass die Unterbindung eines Nerven die Fortleitung der Erregung in ihm hemmt, hat jüngst du Bois-Reymond angegeben. Diese Vorrichtung (die Froschpistole) ist auf Taf. XLV Fig. 2 abgebildet.

Der stromprüfende Schenkel wird auf einem Spiegelglasstreifen befestigt, der an eine, der Revolvertrommel entsprechende Holzscheibe angekittet ist. Drähte, welche diese Scheibe durchbohren, tragen oberhalb des Glasstreifens drei rinnenförmige Elektroden *Pu*, *Z* und *Po*, die mittlere aus Zink, die seitlichen aus Platin. Der Nerv liegt in diesen Rinnen unverschiebbar. Zwischen *Z* und *Pu* ist der Nerv unterbunden. Wird *Po* und *Z* metallisch verbunden, so erfolgt keine Zuckung; dieselbe tritt aber sofort ein, wenn *Z* mit *Pu* verknüpft wird. Der metallische Contact wird hergestellt durch Druck auf zwei federnde Elfenbeintasten *o* und *u*; die erstere für die oberhalb, die letztere für die unterhalb der Unterbindungsstelle liegenden Elektroden. Man lässt die Vorrichtung unter den Zuhörern circuliren, welche sie am Kolben wie eine Pistole erfassen und durch Drücken auf der einen oder der andern Taste sich von der hemmenden Wirkung der Unterbindung leicht überzeugen können. Ein frischer Froschschenkel gestattet mehr als hundertmalige Wiederholung des Versuchs; die Glashülle schützt dabei den Schenkel vor Vertrocknen.

Eine vorzügliche Einrichtung zum mechanischen Tetanisiren des Nerven ist der auf Taf. XIX Fig. 3 und 4 abgebildete Tetanomotor von Heidenhain.[1]) Der Tetanomotor gestattet einerseits, während längerer Zeit (bis zu zwei Minuten) durch mechanisches Klopfen den Nerven tetanisch zu erregen, und andererseits durch bequemes Verschieben des Nerven ihn auf seiner ganzen Länge für die Reizung zu benutzen.

---

1) Auf der Zeichnung ist der Heidenhain'sche Tetanomotor in einer etwas verbesserten Einrichtung dargestellt, die er später erhalten hat.

Die tetanisirende Vorrichtung wird durch einen gewöhnlichen Halske'schen Unterbrecher (Taf. XXXVIII Fig. 3) in Bewegung gesetzt, an dessen federndem Hebel ein kleiner Hammer angebracht ist, welcher den auf harte Unterlage gelegten Nerven tetanisirt.

Der Hammer *F K* (Fig. 3 Taf. XIX) ist auf der Verlängerung des Hebels *h k* (Fig. 3 Taf. XXXVIII) bei *k* angebracht. Er ist ganz leicht und endet mit einer viereckigen Elfenbeinplatte mit abgerundeten Rändern. Diese Platte passt genau in die Rinne *H*, welche an der oberen Fläche des Elfenbeinstücks *E* angebracht ist. Die beiden diese Rinne bildenden Leisten besitzen zwei Schlitze, in welche der mit dem Unterschenkel verbundene Nerv hineingelegt wird. Beim Spiel des Hebels am Halske'schen Unterbrecher schlägt das Elfenbeinplättchen *K* in die Rinne *H* ein und ertheilt auf diese Weise dem darin liegenden Nerven rhythmische Stösse.

Andere Theile der Vorrichtung dienen zur genauen Einstellung des Elfenbeinstücks *E*, damit der Nerv von den Stössen des Plättchens *K* mehr oder weniger stark getroffen wird. Der Messingträger *A, A, A* lässt sich mit seiner unteren Platte auf dem Grundbrett des Halske'schen Hammers beliebig in horizontaler Richtung verschieben und gestattet so die passendste Einstellung des Elfenbeinklötzchens *E*, damit das Plättchen, ohne Widerstand an den Leisten der Rinne zu begegnen, sich in derselben bewegen kann. Die Schraube *C* dient dazu, um das Zwischenstück *B*, welches den Elfenbeinklotz *E* trägt und das einen Schraubengang besitzt, in verticaler Richtung zu verschieben und so die Platte tiefer oder oberflächlicher in die Rinne einschlagen zu lassen.

Die Fig. 4 zeigt die Vorrichtung von oben gesehen, welche bequem den Nerv in der Rinne abzuwickeln und seiner ganzen Länge nach auszunutzen gestattet. *H H* ist die Rinne, in deren Schlitz der Ischiadicus *h* gelegen ist; der Gastrocnemius, beziehlich der ganze Unterschenkel *M* liegt auf der Glasplatte *p* des mehrfach erwähnten du Bois'schen Trägers. Das Elfenbeinstäbchen *m* ist in zwei Leisten des Metallstücks *L* leicht drehbar und besitzt in der Mitte seiner Länge eine Furche zur Aufnahme des Nerven. Das centrale Stück des Nerven wird einmal um das Stäbchen gerollt und haftet ihm gut an. Ist die tetanisirte Stelle des Nerven nicht mehr erregungsfähig, so wird durch eine kleine Drehung des Stäbchens *m* der Nerv auf dasselbe aufgewickelt und ein neues Nervenstück gelangt so unter die Schläge des Plättchens. Durch allmähliches Aufwickeln des Nerven auf dieses Stäbchen kann so der ganze Ischiadicus bis zu seiner Theilungsstelle an der Kniekehle dem Tetanisiren ausgesetzt werden. Die bewegliche Messingfeder *G* (Fig. 3) dient dazu, das Stäbchen in der gegebenen Stellung zu fixiren.

Durch Schliessen oder Oeffnen des Kreises im Halske'schen Unterbrecher lässt sich der mechanische Tetanus unterbrechen oder von neuem herstellen. Die Zahl der Schwingungen des Hebels kann von drei in der Secunde an beliebig gesteigert werden. Man ist so im Stande, zuerst einzelne Zuckungen auf mechanischem Wege hervorzurufen und dann allmählich bis zum Tetanus zu steigen.

§. XI. Methoden zur Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven.

Einige Jahre nachdem einer der hervorragendsten Naturforscher dieses Jahrhunderts, Johannes Müller erklärt hatte: „wir werden auch wohl nie die Mittel

gewinnen, die Geschwindigkeit der Nervenwirkung zu ermitteln" und zwar weil „die Zeit, in welcher eine Empfindung von den äusseren Theilen auf Gehirn und Rückenmark und die Rückwirkung auf die äusseren Theile durch Zuckungen erfolgt, unendlich und unmessbar ist", hat du Bois-Reymond die Mittel angegeben, mit welchen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven und Muskel gemessen werden könnte, und kurze Zeit darauf hat Helmholtz diese Geschwindigkeit mit der äussersten Präcision und mit Hilfe der feinsten Messmethoden bestimmt.

Mit der Erschaffung der Methoden zur Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Nerven hat Helmholtz den grössten methodischen Fortschritt der Physiologie in diesem Jahrhundert vollführt. Wenn schon der unmittelbar damit erzielte Erfolg die kühnsten Hoffnungen der Physiologen übertroffen hat, so wurde durch die fernere Ausbeutung der Helmholtz'schen Methoden auf verschiedenen Gebieten der Physiologie und Psychologie die Bedeutung dieser Methoden noch ansehnlich gesteigert. Die hier einschlagenden Methoden sollen daher ausführlich besprochen werden.

Wenn die Geschwindigkeit dieser Fortpflanzung sich auch bedeutend geringer herausgestellt hat, als man erwartet hat, so war sie doch immer noch gross genug, um zu ihrer Messung der feinsten zeitmessenden Methoden zu bedürfen. Zur Zeit, als Helmholtz an diese Messung ging, waren die zeitmessenden Methoden von den Physikern bis zu einer noch nie erreichten Vollkommenheit und Feinheit ausgebildet worden. Dem Principe nach liessen sich diese Methoden in zwei Gruppen eintheilen.

Der einen Gruppe war das Princip zu Grunde gelegt worden, dass man kleine Zeittheilchen messbar machte, indem man Zeitunterschiede in Raumunterschiede verwandelte. Diese Gruppe bediente sich also der graphischen Methode, welche Thomas Joung zu diesen Zwecken geschaffen hat. Die zu beobachtenden Bewegungen zeichneten verschiedene Phasen ihres Verlaufs auf einer mit grosser Geschwindigkeit vorbeistreifenden Trommel, und nach den schon früher im Capitel I und II mehrmals besprochenen Methoden wurden diese Aufzeichnungen zur Messung des zeitlichen Ablaufs dieser Bewegungen benutzt. Die Vollendung der graphischen Vorrichtungen war soweit vorgeschritten, dass man die zeitmessenden Trommeln bis zu 60 Umdrehungen in der Secunde machen liess. Bei Eintheilung der Oberfläche der Trommel in 360 Grade konnten also 21600 Gradtheile einer Secunde gemessen werden. Siemens construirte ein solches Uhrwerk mit Cylinder bei seinen Versuchen, den Lauf der Geschützkugeln zu bestimmen. Um die Momente genau zu verzeichnen, in welchen die Kugel gewisse Strecken durchläuft, liess er die Kugel auf ihrer Bahn elektrische Ströme schliessen, durch welche Elektromagnete die Zeiger dieses Uhrwerks momentan zum Stillstand brachten. Die Zahl der Secundentheile, um welche der zweite Zeiger sich noch nach dem Stillstand des ersteren bewegt hat, gab die Zeit an, welche zwischen dem Schluss der beiden Ströme verflossen war.

Zu denselben Zwecken liessen Wheatstone und Breguet die Kugeln auf ihrem Wege Drähte zerreissen, welche als Leitungen zu elektromagnetischen Vorrichtungen dienten. Durch Zerreissung dieser Drähte wurde ein den Elektro-

magnet umkreisender Strom unterbrochen, ein von ihm festgehaltener Hebel senkte sich und verzeichnete ein Signal auf der schnell rotirenden Trommel.

Diese elektrische Zeitmessung machte die Verzeichnung der Signale noch viel genauer als die Siemens'sche.

Einen ferneren Fortschritt in der Technik der Zeitmessung führte Siemens ein, indem er die mechanischen Zwischenstücke, welche das Signal verzeichneten, beseitigte und einen elektrischen Funken direct auf die fein polirte Stahlplatte des Cylinders überschlagen liess, der so einen feinen dunkeln Fleck auf der Platte zurückliess. Die Kugel zerriss auf ihrer Bahn ein Drahtgitter mit isolirten Drähten, die abwechselnd mit der inneren und äusseren Belegung einer Leidener Flasche verbunden waren. Der rotirende Cylinder mit der zugehörigen Spitze war mit in den Entladungskreis eingeführt, die Entladung erfolgte, wenn die Kugel, das Gitter durchschlagend, die metallische Leitung zwischen den Drähten herstellte. Auf der betreffenden Stelle der Cylinderoberfläche machte der Funke die Marke. Mit Hilfe dieser Methode konnte Siemens $^1/_{40000}$ Secunde mit der grössten Präcision messen.

Noch viel erstaunenswerthere Resultate erzielte aber das auf demselben Princip beruhende zeitmessende Verfahren, als Wheatstone den glücklichen Gedanken fasste, statt der rotirenden Cylinder rotirende Spiegel einzuführen. Wenn man die Neigung einer Spiegelfläche langsam ändert, so scheinen die in ihm entworfenen Spiegelbilder äusserer Gegenstände sich zu bewegen und zwar mit einer doppelt so grossen Winkelgeschwindigkeit als der Spiegel. Der Kreis, in welchen die Bilder sich bewegen, hat die Drehungsaxe des Spiegels zum Mittelpunkte und zum Radius den Abstand des Gegenstandes von dieser Axe.

Die augenblickliche Stellung des Spiegelbildes kann mit einem Fernrohr mit derselben Genauigkeit abgelesen werden, wie mit einem Mikroskope die auf einer rotirenden Cylinderfläche verzeichneten Marken. Bei derselben Umdrehungsgeschwindigkeit wie bei dem Stahlcylinder wächst beim rotirenden Spiegel die Genauigkeit der Messung in demselben Verhältnisse, in welchem der Radius des scheinbaren Weges des Spiegelbildes zum Radius des Stahlcylinders steht.

Wheatstone hat diese Zeitmessungsmethode zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Entladung benutzt. Eine viel grossartigere Verwendung fand aber diese Methode, als Foucault und Fizeau in Ausführung eines früher von Arago gemachten Vorschlags sie benutzten, um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zu messen. Der dabei von Foucault verwendete Spiegel machte 6—800, der von Fizeau 12—1500 Umläufe in der Secunde. So gelang es ihnen, bei einer Messung auf einer Strecke von zwölf Fuss die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zu 40000 Meilen in der Secunde zu finden; die zwölf Fuss entsprachen also dem 77millionsten Theil einer Secunde.

Auf einem ganz anderen Princip beruht die zweite Methode der Messung kleiner Zeittheilchen, welche von Pouillet zuerst vorgeschlagen worden ist. Hier wird die Zeit durch die Wirkung gemessen, welche eine während derselben wirkende Kraft von bekannter Grösse hervorzubringen im Stande ist. Als solche Kraft wurde der elektrische Strom benutzt, und zwar wurden die Schwingungen abgelesen, in welche er einen von ihm umkreisten Magnet versetzt.

Der zu messende Vorgang schliesst bei seinem Entstehen und öffnet bei seinem Verschwinden einen elektrischen Strom, der einen aufgehängten Magnet umkreist.

Mit einem Fernrohr werden während dieser Zeit die Schwingungen des Magnets beobachtet und aus denselben die Zeit bestimmt, während welcher der Strom auf ihn eingewirkt hat.

Helmholtz bediente sich der beiden oben angedeuteten Methoden zur Messung des zeitlichen Ablaufs der Muskelzuckung und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven. Die Möglichkeit, diese Messungen vorzunehmen, beruhte auf der Voraussetzung, dass zwischen dem Moment, wo der motorische Nerv in Erregung geräth, und dem Moment, wo der mit ihm zusammenhängende Muskel eine Contraction auslöst, irgend eine messbare Zeit vergeht. War diese Voraussetzung richtig, so musste diese Zeit verschieden gross ausfallen, je nachdem der Reiz auf eine dem Muskel näher oder ferner gelegene Nervenstelle eingewirkt hat.

Die erste Aufgabe, welche Helmholtz zu lösen versuchte, war, den zeitlichen Verlauf der Zuckung des Muskels zu bestimmen, um zu ermitteln, in welchen Zeiträumen nach der momentanen Reizung die Energie des Muskels bei der Contraction steige oder sinke. Zu diesen Vorversuchen benutzte Helmholtz das graphische Verfahren. Eine mit gleichmässiger Geschwindigkeit rotirende Trommel mit berusster Fläche wurde vor einem Stift vorbeigeführt, der durch ein Hebelwerk mit dem Muskel in Verbindung stand. Bei einer gewissen Stellung der Trommel öffnete ein an ihr angebrachter Stift den primären Kreis eines Inductionsstroms, in dessen secundären Kreis der Nerv eingeschaltet war. Der Nerv erhielt einen momentanen Reiz, dessen Beginn also bei der verschwindend kurzen Dauer der Induction, mit dem Momente zusammenfiel, wo der Stift der Trommel den primären Kreis schloss. Der sich contrahirende Muskel zeichnete dabei auf der berussten Fläche Curven, deren horizontale Abscissen der Zeit proportional waren, deren Ordinaten der Erhebung des Hebels gleich waren.

Mit Hilfe dieser Versuche wurde die wichtige Thatsache constatirt, dass die Energie des Muskels sich nicht im Augenblicke einer momentanen Reizung vollständig entwickelt, sondern erst nachdem diese aufgehört, allmählich ansteigt, ein Maximum erreicht und dann wieder verschwindet.

Wegen der Reibung des zeichnenden Stiftes auf der berussten Oberfläche war es aber sehr schwierig, genau die Zeit zu ermitteln, welche zwischen dem Beginn der Reizung des Muskels und dem Momente verstrich, in welchem er eine gewisse Spannung erlangte. Um diese Zeit genau zu gewinnen, wendete er sich zu der Pouillet'schen Zeitmessung.

Die allgemeine Anordnung seiner darauf bezüglichen Versuche war die folgende:

Im Momente, wo dem Muskel der Reiz zugeführt wurde, wurde ein Strom von bekannter Stärke geschlossen, der einen Magnet umkreiste. Dieser Strom wurde von dem Muskel selbst in dem Augenblicke geöffnet, wo seine Zusammenziehung begann. Aus der Grösse der Schwingungsbogen des Magnetes wurde bei bekannter Stärke des Stromes die Dauer des Stromesschlusses, also auch die Zeit bestimmt, welche zwischen dem Moment der directen Reizung des Muskels und dem Beginne seiner Zusammenziehung verflossen war.[1]) Diese Bestimmung gab also genau die Dauer der latenten Reizung an.

---

1) Bezeichnet man durch h, die Grösse des Ausschlages (des halben Schwingungsbogens des Magnetes) vor der Einwirkung des Stromes, durch $h_{,,}$ dieselbe Grösse nach der Einwir-

Die Oeffnung des Stromes im primären Kreis, welche den reizenden inducirenden Schlag dem Nerven oder Muskel ertheilt, musste genau in demselben Momente geschehen, wie der Schluss des Stromes, der den Magnet umkreisen sollte. Diese beiden Acte wurden gleichzeitig ausgeführt durch Drehung eines zweiarmigen Hebels um eine horizontale Axe, die durch einen kräftigen Stoss mit einem zur Leitung des zeitmessenden Stromes gehörigen Metallstabe erzeugt wurde. Bei dieser, innerhalb einer unmessbar kleinen Zeit geschehenden Drehung nahm der Hebel zwei Lagen an, in der einen öffnete er den primären Kreis, in der zweiten schloss er den zeitmessenden Strom.

Unterbrochen wurde der zeitmessende Strom durch Lösung eines Contactes zwischen einer Goldkuppe und einem Goldplättchen beim Beginne der Muskelzusammenziehung. Eine kleine Belastung des Muskels genügte, um diesen Contact herzustellen. Die Spannung des Muskels war gleich der Schwere dieser Belastung, und es genügte die geringste Steigerung der Energie des Muskels, um diese Belastung zu heben und den Contact zwischen Goldkuppe und Goldplättchen zu lösen. Der so belastete Muskel war ausserdem mit einem Gewicht verbunden, das zwar den Muskel bei dem herrschenden Contacte zwischen Goldkuppe und Goldplatte nicht mehr dehnen konnte, das aber eine Ueberlastung erzeugte, welche bei Reizung des Muskels erst überwunden werden musste, damit der Muskel sich contrahiren und den Contact lösen konnte. Seine elastische Spannung musste also erst der Summe der Belastung und der Ueberlastung gleich geworden sein. Auf diese Weise wurde der zeitmessende Strom erst unterbrochen, wenn die elastische Spannung des Muskels einen gewissen durch die Schwere der Ueberlastung zu messenden Werth erhalten hatte.

Damit der zeitmessende Strom beim Aufhören der Muskelcontraction durch Herstellung des Contacts zwischen Goldplättchen und Goldkuppe nicht von neuem geschlossen wird, hat Helmholtz ausser diesem Contacte noch einen zweiten eingerichtet, welcher auch in demselben Momente wie der obige durch die Muskel-

---

kung, durch α die Ablenkung im Moment des Stromschlusses, durch T die Schwingungsdauer des Magnetes und durch J die Ablenkung, welche der Strom hervorbringen würde, wenn er constant anhielte, so ist die Dauer des zeitmessenden Stromes

$$t = \frac{T}{2\pi J} \cdot \left[\sqrt{h_{,,}^2 - \alpha^2} - \sqrt{h_{,}^2 - \alpha^2}\right].$$

Wird die vorhandene Geschwindigkeit des Magnetes durch den Strom vermehrt, so ist für beide Wurzeln dieser Gleichung der positive Zahlenwerth derselben, wird sie vermindert, der negative zu nehmen. Mit Ausnahme von α lassen sich alle Grössen dieser Gleichung mit Genauigkeit bestimmen. Bei grossen Schwingungsbogen, also grosser Geschwindigkeit des Magnetes, ist die genaue Bestimmung von α schwierig auszuführen. Ein Fehler in dieser Bestimmung wird aber von geringem Einfluss auf den Werth t sein, wenn $\alpha = 0$ ist, da dann auch $\frac{dt}{d\alpha} = 0$ wird. Es ist daher vortheilhaft, den Strom im Moment zu schliessen, wo der Magnet den Meridian passirt. Der Fehler von α wird auch kleiner, wenn h möglichst klein ist und wenn die vorhandene Bewegung des Magnets durch den Strom verstärkt wird. Für diesen Fall reducirt sich die obige Gleichung auf

$$t = \frac{T}{2\,\pi\,J} \cdot (h_{,,} - h_{,}).$$

Diese Gleichungen gelten aber nur, wenn t gegen T so klein ist, dass schon t^2 gegen T^2 verschwindet. Dies ist bei der Messung kurzdauernder Vorgänge auch immer der Fall.

zusammenziehung unterbrochen wurde. Dieser zweite Contact bestand zwischen einer amalgamirten Spitze und einem von einer Quecksilberoberfläche aufsteigenden capillaren Quecksilberfaden. Bei der Contraction des Muskels riss dieser Faden, so dass beim Aufhören der Contraction dieser Contact sich nicht wieder herstellen konnte; der zeitmessende Strom blieb also unterbrochen.

Mit Hilfe der hier angedeuteten Vorrichtungen[1]) führte Helmholtz nach der Pouillet'schen Methode die ersten Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenerregung und des zeitlichen Verlaufs der Muskelzuckung aus.

Bei seinen späteren Messungen gab Helmholtz von neuem der graphischen Methode den Vorzug, und zwar wegen der Schwierigkeiten, mit denen die Ausführung einer grossen Reihe von Messungen nach der Pouillet'schen Methode verknüpft war. Die graphische Methode ist seitdem auch von anderen Beobachtern ausschliesslich zur Verwendung gekommen.

Sämmtliche zu diesem Zwecke eingeführten Vorrichtungen lassen sich in zwei Gruppen eintheilen. In der einen wird die Muskelcurve auf einer in beschleunigter oder stetiger Rotation begriffenen Cylindertrommel oder Scheibe verzeichnet. In der zweiten wird der Zeichenfläche eine bestimmte Geschwindigkeit während einer verschwindend kleinen Zeit ertheilt, die aber gerade ausreichend ist, um die Muskelcurve aufzunehmen. Der letzteren Gruppe von Apparaten wird in neuester Zeit aus mehreren Gründen, auf die noch unten zurückgekommen wird, der Vorzug gegeben.

Der von Helmholtz verwendete Apparat mit rotirender Cylindertrommel, das Myographion[2]), ist auf Taf. L Fig. 1 und 2 in einer von der ursprünglichen etwas abweichenden Gestalt abgebildet.

Dieses Myographion besteht aus drei von einander abhängigen Vorrichtungen, die auch am übersichtlichsten getrennt von einander beschrieben werden.

1) Das Uhrwerk, welches den Cylinder in gleichmässige Rotation versetzt.

2) Die Vorrichtung, durch welche die Contraction des Muskels auf den Zeichenstift übertragen wird, und

3) Die Einrichtungen, welche zur rechtzeitigen Auslösung der für den Nerven bestimmten Reize dienen.

Das Uhrwerk ist in dem geschlossenen Kasten *C* eingeschlossen. Es wird durch ein Gewicht in Bewegung gesetzt und besitzt in dem drehbaren Fortsatz α eine Hemmung, durch welche es ohne Gefahr für das Räderwerk angehalten werden kann. Durch eine gewisse Einstellung dieses Fortsatzes α wird an die Schwungscheibe *B* ein mit Leder gefütterter Arm angelegt, der allmählich den Gang des Uhrwerks anhält. Bei der grossen Umdrehungsgeschwindigkeit würde ein plötzliches Anhalten eine Beschädigung des Uhrwerks unbedingt herbeiführen.

Auf der obersten Platte des metallischen Gehäuses ist ein Zählerwerk *D* angebracht, dessen Zeiger bei je 5 Umdrehungen der Hauptaxe des Uhrwerks einen

---

1) Der von Helmholtz zu seinen ersten Versuchen verwendete Apparat ist in seiner ersten Mittheilung (Müller's Arch. 1850) abgebildet und beschrieben.

2) Die Bezeichnung dieser Apparate als Myographion ist jetzt insofern nicht ganz zutreffend, als man sich derselben Bezeichnung auch für die Vorrichtungen bedient, welche nur zur Aufzeichnung der Muskelcurve, ja sogar nur zur Verzeichnung der Höhe der Muskelcontraction verwendet werden. (Marey'sches, Pflüger'sches Myographion etc.)

Theilstrich überspringt. Die Zahl der Umdrehungen des Cylinders kann bis zu 15 in der Secunde gesteigert werden. An dem Zählerwerk wird beobachtet, wann die Geschwindigkeit der Umdrehung die gewünschte Höhe erreicht hat, bei welcher der Versuch beginnen soll.

Der Zeichencylinder *A* ist genau cylindrisch aus Glas geschliffen; er wird mittelst einer Metallfassung an der Axe des Uhrwerks in einer Weise aufgesetzt, dass er nicht die geringsten seitlichen Schwankungen bei seiner Bewegung machen kann. Die Fassung besteht aus zwei Messingscheiben, welche die Grundflächen des Cylinders bilden und durch ein röhrenförmiges Metallstück in der Mitte vereinigt sind. Durch diese Röhre geht die Axe des Uhrwerks. Vor dem Aufsetzen auf diese Axe wird der Cylinder zwischen dem Arme der Gabel *E* eingesetzt und über einer Lichtflamme einige Mal gedreht, bis er mit einer feinen Russschicht bedeckt wird.

Ist der Cylinder auf die Axe gebracht, so wird er durch einige Drehungen der Schraube (s. Zeichnung) auf die Axe fest angezogen; Dank einem Vorsprung in der Röhre, welchem ein Fortsatz auf der Axe entspricht, sind Drehungen des Cylinders um diese Axe unmöglich.

Auf derselben Axe, die den Cylinder trägt, ist eine schwere, mit Blei ausgegossene Schwungscheibe *B* angebracht, in deren unterer Fläche zwei Flügel sich befinden, welche in der kreisförmigen, mit Oel gefüllten Rinne *B'* sich bewegen. Mit Hilfe eines Schlüssels lassen sich die Flügel in die gewünschte Stellung zur Richtung der Drehung bringen und so der Widerstand, welchen das Oel den Bewegungen entgegenstellt, variiren. Auch kann man nach Belieben sie ganz oder nur zum Theil in Oel laufen lassen. Auf diese Weise lässt sich die Geschwindigkeit der Umdrehungen des Cylinders in ziemlich weiten Grenzen beherrschen.

Die Vorrichtung, welche zur Aufzeichnung der Muskelzusammenziehung dient, das eigentliche Myographion, besteht aus dem Rahmen *c* mit dem Zeichenstift *c*. Das Myographion ist noch besonders in etwas veränderter Gestalt in der Fig. 4 derselben Tafel und in der Fig. 3 der Taf. LI abgebildet.[1]) Zwei Säulen *D D* (Fig. 3) tragen einen Hebel *E E*, der die Form eines Rahmens hat und um eine horizontale, die beiden Säulenspitzen verbindende Axe drehbar ist.

Bei *G* ist an ihn ein anderer, auch um eine horizontale Axe drehbarer Hebel befestigt, der unten die Schreibspitze *J* trägt. Da diese beiden Hebel sich nur um die horizontale Axe drehen, so kann die Spitze *J* sich nur in verticaler Richtung auf- und niederbewegen.

An dem Querbalken des rahmenförmigen Hebels ist eine hakenförmige Spitze angebracht, welche mit einem anderen, der in der Sehne des Muskels (der Achillessehne des Gastrocnemius) steckt, durch Zwischenhäkchen verbunden wird. (Taf. L Fig. 1.) Der Druck, mit welchem die Spitze *J* der rotirenden Trommel anliegt, wird durch ein kleines Gewichtchen *R* (Fig. 3 Taf. LI) regulirt.

Die complicirteste Einrichtung hat der Theil des Apparates, welcher zur recht-

---

1) Fig. 3 Taf. LI ist das Helmholtz'sche Myographion, wie es Pflüger benutzt hat. Es ist daran die rotirende Trommel und die Reiz auslösende Einrichtung entfernt und die erstere durch eine berusste Glasplatte ersetzt worden, die vor dem Zeichenstift mit der Hand verschoben wird.

zeitigen Auslösung der Reize dient. Diese Einrichtung ist in Fig. 2 der Taf. L nochmals wiedergegeben.

Zwei Messingsäulen *n p* besitzen doppelte Klemmschrauben zur Aufnahme der Leitungsdrähte. Auf der Säule *p* ist oben ein gabelförmiges Axenlager für den Hebel *h* angebracht, der die beiden Säulen überbrückt. Dieser Hebel *h* bewegt sich um eine horizontale Axe; durch das Uebergewicht seines längeren Arms liegt er an der Säule *n* an und bildet einen guten metallischen Contact mit der aus der Säule *n* hervortretenden Platinspitze.

In der Mitte seiner unteren Fläche trägt der lange Arm dieses Hebels ein Stahlplättchen (s. Zeichnung), dem gegenüber eine Metallscheibe *i* sich befindet, die an einer rechtwinklig zum Hebel stehenden Axe drehbar ist. Bei einer Drehung dieser Scheibe in der Richtung von *n* zu *p* kommt in einem gewissen Moment ein Theil ihrer Peripherie nach der Art einer Excentrik mit dem Stahlplättchen des Hebels in Berührung und hebt diesen letzteren vom Contact mit der Säule *n* ab. Jede solche Drehung der Scheibe *i* ist also von einer Abhebung des Hebels *h* von der Säule *n*, also von einer Contactlösung begleitet. Die Drehung der Scheibe *i* geschieht ihrerseits jedesmal, wenn der rechtwinklige stählerne Fortsatz *l* gedreht wird. Dieser Fortsatz ist nämlich durch eine gemeinschaftliche Welle, die in gabelförmigen (auf der Zeichnung sichtbaren) Axenlagern ruht, mit der Scheibe *i* verbunden, so dass diese letztere die Bewegung des Fortsatzes mitmachen muss.

Der Stahlfortsatz *l* kann von einem Zahn aus Stahl, der an der Scheibe *B* angebracht ist, umgeworfen werden. Die Einrichtung, welche diesem Zahne, der durch Umwerfen des Fortsatzes *l* die Scheibe *i* dreht und *h* von *n* abhebt, dadurch also den Strom öffnet, gegeben wird, ist verschieden. Im ursprünglichen Helmholtz'schen Myographion war dieser Zahn unbeweglich an der Scheibe *i* angebracht. In Folge dessen war eine Einrichtung getroffen, damit der Fortsatz nur in dem Moment in die Bahn dieses Zahns (Daumens) gelange, als der Strom unterbrochen werden sollte. Damit aber die Zeichenspitze *e* nicht indessen an die Trommel zu liegen kommt und so eine grosse Anzahl sich deckender Abscissen auf derselben zeichnet, wurde dafür gesorgt, dass sowohl das Anlegen der Spitze an die Trommel wie das Vorschieben des Fortsatzes *l* durch einen und denselben Handgriff gleichzeitig ausgeführt werden konnte.

Das kreuzförmige Messingstück *k, k, b*, das in dem Stahlbogen *r r* beweglich ist, trägt auf seinem vorderen Arme die Scheibe *i* und den Fortsatz *l* sammt ihrer gemeinschaftlichen Axe (Fig. 2). Auf dem hinteren Arme trägt es die kleine Säule *K*, an der, wie Fig. 1 zeigt, mittelst eines Schräubchens der Faden aufgewickelt werden kann, der zur Zeichenspitze *e* geht.

Ist der hintere Arm gesenkt, so wird einerseits durch den Faden *f* die Spitze von der Trommel abgezogen, andererseits durch gleichzeitige Hebung des vorderen Arms der Fortsatz *l* ausser dem Bereich des Zahns der Schwungscheibe gebracht. Um *k, k* in der so gegebenen Stellung zu erhalten, wird der hintere Arm des Messingstücks durch einen von *g* abgehenden Vorsprung niedergedrückt. Wird durch eine Drehung von *g* der hintere Arm von diesem Vorsprunge frei gemacht, so sinkt der vordere Arm unter dem Drucke der Feder *α*

nach vorn herüber: dadurch wird gleichzeitig die Spitze an die Trommel gelegt und der Fortsatz *l* in den Bereich des Zahns der Schwungscheibe gebracht.

An einem Myographion, das von Bezold bei seinen Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenerregung durch elektrotonisirte Nervenstrecken benutzt wurde, brachte du Bois-Reymond eine sehr sinnreiche Vorrichtung an, die dieses complicirte Verfahren überflüssig machte.

Im Inneren der Schwungscheibe wurde eine Sprungfeder- und Hakenvorrichtung angebracht, welche den Zahn der Scheibe nach innen zurückhielt, so dass er nicht über deren äussere Wand hinausragte. Bei einer gewissen von der Schwungscheibe erlangten Geschwindigkeit zog sich der Haken, welcher den Zahn zurückhielt, zurück, und der Zahn sprang nach aussen vor, wo er dann den Fortsatz *l* treffen und umwerfen konnte.

Diese Einrichtung hatte den einen Uebelstand, dass die Spitze während dieser Zeit mehrere sich deckende Abscissen auf der Trommel verzeichnete. Man konnte dies zwar dadurch verhüten, dass man die Spitze durch Anziehen des Fadens *f* so lange zurückhielt, bis der Zahn hervorgesprungen war, und erst in diesem Moment sie auf die Trommel fallen liess. Es war aber ziemlich schwierig, den richtigen Moment abzupassen, wo der Zahn gerade herausgesprungen ist. An den später construirten Myographien ist daher noch die auf der Zeichnung sichtbare Einrichtung getroffen worden, dass das Messingstück *k, k, b* anstatt wie früher durch das Anlegen des Vorsprunges von *g*, durch einen Faden festgehalten wurde, der von einem oberhalb der Scheibe abgehenden Fortsatze ausging (s. Fig. 1).

Bei einer gewissen Geschwindigkeit sprang aus der Scheibe ausser dem Zahn, welcher zum Umwerfen von *l* diente, noch ein zweiter hervor, der den fadentragenden Arm bei Seite schob, der vordere Arm von *k* senkte sich nach unten, wodurch sowohl *l* in den Bereich des Fortsatzes gelangte, als auch die Zeichenspitze an die Trommel angelegt wurde.

In dem Apparate, der auf Taf. L abgebildet ist, ist die Möglichkeit gegeben, den Mechanismus, welcher auf dem Messingstücke *k, k, b* ruht, nach Belieben entweder durch den Fortsatz *g* oder durch die letztbeschriebene Zahnvorrichtung spielen zu lassen.

In dem Glaskasten sieht man die mit einer Feder versehene Pincette, welche zum Einklemmen des Oberschenkelstücks dient, das man an dem Gastrocnemius stehen lässt. Mit Hilfe einer Schraube lässt sich die Pincette, also auch der Muskel sammt Schreibhebel, nach oben oder nach unten verschieben. Feuchte Schwämme, welche auf dem Boden des Glaskastens sich befestigen lassen, erhalten in ihm fortwährend eine feuchte Luft. Der Messingrahmen, auf welchem der Glaskasten ruht, besitzt mehrere Doppelklemmen, in welche einerseits die stromzuführenden Drähte, andererseits die Elektroden, auf welche der Nerv gelegt wird, eingeklemmt werden.

Die Versuchsanordnung, um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven mit diesem Myographion zu messen, wird in folgender Weise getroffen: die Säulen *p* und *n* werden in der Weise in den Kreis der primären Spirale eines Inductionsapparates eingeführt, dass der Strom der Kette in *p* eintritt, durch den Hebel *h* zur Säule *n* geht, dann die Hauptrolle umkreist und zur Kette zurückkehrt. Da die Säule *n* durch Elfenbeineinsatz von den übrigen umgebenden Theilen

isolirt ist, so ist der Kreis der primären Rolle nur dann geschlossen, wenn der Hebel *h* in Contact mit der Säule steht.

Die Drähte der secundären Rolle werden mit zwei gegenüberstehenden Klemmen des Grundbretts aus Hartgummi verbunden, auf welchem der Glaskasten ruht. Wie schon erwähnt, stehen diese Klemmen in Verbindung mit den Elektroden und zwar jedes Paar gegenüberstehender Klemmen mit zwei Elektroden. Von diesen letzteren werden zwei an einer Nervenstelle angelegt, die ganz nahe am Muskel ist, zwei andere an einer entfernteren Stelle. Je nach der Nervenstelle, die vom Reize getroffen werden soll, werden die Drähte der secundären Rolle mit dem einen oder dem anderen Klemmenpaare verbunden.

Ist der berusste Cylinder auf die Axe des Uhrwerkes aufgesetzt und der Apparat auch sonst in Bereitschaft gebracht, dann schreitet man zur Präparation des Ischiadicus und Gastrocnemius, die auf die bekannte Weise ausgeführt wird. Am oberen Ansatze des Gastrocnemius wird das Kniegelenk nebst einem längeren Stück des Oberschenkelknochens erhalten.

Dieses letztere Knochenstück wird von Muskeln sorgfältig gereinigt und in die mit Spiralfeder versehene Pincette eingeklemmt. In die Achillessehne wird ein Haken eingestochen, der entweder direct oder durch Vermittlung eines zweiten Hakens mit dem Haken *c* des Schreibhebels auf die aus der Zeichnung verständliche Weise verbunden. Der Nerv wird auf die beiden Elektrodenpaare gelegt, am besten in der Weise, dass die Strecke zwischen den beiden Elektrodenpaaren keine Falten und Biegungen bildet.

Sodann muss auf der Trommel der Zeitpunkt festgestellt werden, welcher dem Beginn der Reizung entspricht.

Zu diesem Ende wird die Zeichenspitze an die Trommel angelegt und auch der Unterbrechungsvorrichtung die Stellung gegeben, bei welcher der Fortsatz *l* von dem Zahn der Schwungscheibe[1]) getroffen und umgeworfen werden kann. Um das Schreiben unnöthiger Abscissen auf der Trommel zu vermeiden, wird die Zeichenspitze an die Trommel erst bei einer Stellung der Schwungscheibe angelegt, bei welcher ihr Zahn ganz nahe dem Fortsatze *l* steht. Sodann wird die Trommel mit der Hand langsam gedreht, bis der Fortsatz *l*, also auch die Scheibe *i*, umgeworfen wird. Durch die dabei stattfindende Abhebung des Hebels *h* von der Säule *n* wird der primäre Kreis unterbrochen, in den secundären ein Oeffnungsstrom inducirt, der den Nerven trifft und eine Zuckung des Gastrocnemius erzeugt. Da die Trommel nur langsam vor der Zeichenspitze vorbeigeführt wird, so zeichnet der Muskel dabei eine verticale Linie.

Wegen der verschwindend kurzen Zeit, in welcher der Oeffnungsschlag das Maximum seiner Intensität erreicht und auf den Nerven einwirkt, kann der von dieser verticalen Linie bezeichnete Zeitpunkt als das Moment gelten, in welchem der Nerv erregt wird.

Darauf wird die Zeichenspitze durch Senkung des hinteren Hebelarms von *k k* und dessen Fixirung mit Hilfe der Vorrichtung *g* von der Trommel entfernt und

1) Sowohl der stählerne Fortsatz *l*, als der stählerne Zahn der Schwungscheibe sind konisch zugeschliffen, so dass ihre gegenüberstehenden Flächen sich genau an einander anlegen können.

das Uhrwerk in Gang gesetzt. Ehe die Trommel die gewünschte Umdrehungsgeschwindigkeit erlangt hat, wird der Fortsatz *l* sammt der Scheibe *i* in der Weise um ihre gemeinschaftliche Axe gedreht, dass der Hebel von Neuem auf die Säule *n* angelegt, der Kreis der Hauptrolle also wieder geschlossen wird. Um bei dieser Manipulation den Nerv vor dem Schliessungsinductionsschlag zu bewahren, wird in der Leitung der Nebenrolle ein für allemal ein Schlüssel angebracht, der den Nerv nach Belieben auszuschalten gestattet.

Hat die Trommel die gewünschte Umdrehungsgeschwindigkeit erreicht, wovon man sich an dem Zähler *d* überzeugt, so wird der Fortsatz *g* so gedreht, dass der vordere Hebelarm *k*, *k* sich nach vorn senkt. Dadurch wird, wie schon oben beschrieben, der Fortsatz *l* in den Bereich des Zahns der Schwungscheibe gebracht, der Strom wird geöffnet und der Muskel zeichnet dann auf der Trommel seine Zuckung auf.

Jetzt wird das Uhrwerk mit Hilfe des an die Schwungscheibe sich anlegenden Armes *α* angehalten, die Leitungsdrähte an das andere Elektrodenpaar angelegt und der Versuch ganz in derselben Weise von Neuem wiederholt.

Um die beiden von dem Muskel gezeichneten Curven von einander unterscheiden zu können, wird nach jedem Versuch irgend ein Zeichen auf der Curve gemacht.

Sollen die Curven aufbewahrt werden, so befestigt man die Trommel in der Gabel *E*, die zum Berussen benutzt wurde, und rollt sie mit einigem Drucke auf einer angehauchten Fischleimplatte ab. Die klebrige Leimplatte hält den Russ des Cylinders fest; darauf wird sie mit der berussten Seite gegen ein nasses weisses Papier gelegt, an welches sie dann anklebt; man erhält so weisse Curven auf schwarzem Grunde, die sich sehr gut ausmessen lassen.

Der Unterschied in den Abständen der beiden Punkte, in welchen sich die Muskelcurven über die Abscissen zu erheben beginnen, von dem Verticalstrich, welcher den Beginn der latenten Reizung anzeigt, gleicht der Zeit, welche die Erregung brauchte, um von der entfernteren Nervenstrecke zu der näher liegenden zu gelangen. Bei bekanntem Umfange des Cylinders und bei bekannter Umdrehungsgeschwindigkeit lässt sich diese Zeit berechnen.

Da mit der Wiederholung der Reize die Gestalt der Curve sich etwas ändert, so ist es rathsam, entweder die Reizung zuerst an der entfernteren Stelle des Nerven zu beginnen, da dann die Differenz in der Fortpflanzungszeit und die Aenderung der Reizbarkeit im entgegengesetzten Sinne wirken, oder man lässt nach einander mehrere Curvenpaare zeichnen, bei welchen die Reizung abwechselnd an den näheren oder ferneren Nervenstellen ausgeführt wird.[1])

Die oben beschriebene Versuchsausführung dient zugleich als Vorbild bei allen Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit, mit welchen Mitteln dieselben auch ausgeführt werden.

Von den anderen Myographien, bei welchen auch rotirende Cylinder oder Scheiben verwendet wurden, sind noch die von Valentin, Thiry und Marey construirten

1) Von der sonstigen Gestalt der Curven wird hier ganz abgesehen, da im nächsten Paragraphen bei Beurtheilung der verschiedenen Myographien darüber ausführlicher gehandelt wird.

zu erwähnen. Valentin benutzt bei seinen myographischen Versuchen entweder rotirende Cylinder oder Scheiben, welche mittelst eines Uhrwerks um verticale oder horizontale Axen gedreht werden. Seine Schreibvorrichtung ist der von Helmholtz nachgebildet. Die Einrichtung zur Auslösung der Reize hat das Eigenthümliche, dass die Axe des Uhrwerks als Leitung benutzt wird; ein Umstand, der für das Uhrwerk kaum ohne Schaden sein kann.

Thiry verzichtete bei seinem Myographion auf die Anwendung eines Uhrwerks. Dem Vorgange Foucault's bei seinen Messungen der Lichtgeschwindigkeit folgend, hat Thiry den Glascylinder an der Axe einer Sirene befestigt. Er berechnete die Umdrehungsgeschwindigkeit nach der Tonhöhe, welche gleichzeitig auch zur Controle der Gleichmässigkeit der Bewegung benutzt wurde. Die Einrichtung zur Unterbrechung oder Schliessung des Stromes wurde an dem Rande der Sirenenscheibe angebracht.

Für Demonstrationszwecke hat Marey eine sehr handliche Einrichtung getroffen, um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven zu messen.

Auf der schnellsten Axe des Uhrwerks mit dem Foucault'schen Regulator, welchen Marey bei seinen Versuchen gewöhnlich verwendet (siehe Seite 129. Taf. XVII Fig. 1), wird eine kreisrunde Glasscheibe angebracht zur Aufnahme der Muskelcurve. Der Zeichenapparat besteht aus seinem gewöhnlichen Myographion (Taf. LI Fig. 1 u. 2), wenn der mit dem Körper in Zusammenhang stehende Nerv geprüft wird, aus einer einfacheren Hebelvorrichtung, wenn der ausgeschnittene Nerv mit dem Gastrocnemius verbunden wird.

Die Auslösungsweise des Reizes ist bei Marey von der von Helmholtz eingeführten verschieden. Erstens ertheilt er dem Nerven keinen Oeffnungs-, sondern einen Schliessungsinductionsschlag, sodann wird der Beginn der Reizung bei ihm nicht von der rotirenden Scheibe selbst verzeichnet, sondern dadurch, dass gleichzeitig mit der Senkung des mit dem Muskel verknüpften Hebels ein zweiter in gleicher Höhe mit ihm stehender sich senkt, der den Strom des primären Kreises schliesst und eine Marke auf der Scheibe macht.

Diese Weise, den Beginn der Reizung zu verzeichnen, ist, wie schon du Bois-Reymond bemerkt hat, höchst bedenklich. Die Bildung des Contactes kann unmöglich immer genau in demselben Moment geschehen, wie die Federspitze der Scheibe angelegt wird. Der aus dieser Ungleichzeitigkeit entspringende Fehler kann sogar die ganze Messung illusorisch machen.

Bei dem relativ langsamen Verlauf des Schliessungsschlages, dessen Stadium grösster Dichtigkeitsschwankung mit dem Moment des Schlusses der Hauptrolle nicht zusammenfällt, ist auch die Wahl des Schliessungsschlages bei Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Nerven keine glückliche.

Die Vorrichtungen, deren ich mich bei der Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Rückenmarke bedient habe, sind auf Taf. LII Fig. 1, 2 und 3 abgebildet.[1]) Nach dem Vorgange von Marey bediente ich mich einer kreisrunden Glasscheibe, welche anfänglich auf der schnellsten Axe des Fou-

1) Diese Vorrichtungen sind in der betreffenden Mittheilung dieser Versuche nicht beschrieben worden.

cault'schen Regulators (Fig. 2) angebracht war. Die Zahl der Umdrehungen dieser Axe, welche den Centrifugalregulator trägt, ist 8 in der Secunde.

Später liess ich den in Fig. 1 sichtbaren Apparat construiren, der es gestattet, nach Belieben eine Scheibe oder einen Cylinder zur Aufzeichnung der Muskelzuckungen zu benutzen. Durch eine besondere Einrichtung der unteren Stellschrauben lässt sich der Apparat mit Leichtigkeit in eine Stellung bringen, bei welcher der Cylinder resp. die Scheibe statt um eine verticale, sich um eine horizontale Axe dreht. Die Dimensionen dieser Vorrichtung gestatten, sie durch den Helmholtz'schen elektromagnetischen Rotator in schnelle Rotation zu versetzen. Zur Aufzeichnung der Muskelzuckung bediente ich mich des im nächsten Paragraphen beschriebenen Marey'schen Myographions.

Die Vorrichtung zur Auslösung der Reize ist auf Taf. LII Fig. 3 und 4 abgebildet. Sie gestattet nach Belieben Oeffnungs- oder Schliessungsinductionsströme zur Reizung zu benutzen, je nach der Stellung, welche dem Unterbrecher gegeben wurde.

Die Auslösung des Reizes geschah nach dem Vorgange von Helmholtz durch die rotirende Scheibe bei einer gewissen Stellung, die sie während der Rotation einnahm.

Der benutzte Reizunterbrecher ruht auf zwei Holzplatten *e* und *d*, von denen die untere unbeweglich an eine Säule befestigt ist, während die obere sich auf der unteren verschieben lässt. Die Verschiebung geschieht in dem Sinne, dass die Platte *d* sammt dem auf ihr ruhenden Unterbrecher der Scheibe genähert, beziehlich von ihr entfernt wird.

Diese obere Platte trägt den Galgen *i*, dessen verticaler nach unten gerichteter Fortsatz *h* eine konische Pfanne für die Axe *f* (Fig. 3) besitzt. Die untere Pfanne für diese Axe ist in der Holzplatte *d* eingelassen.

Um diese Axe ist ein einarmiger Hebel *c* drehbar. Vermöge der starken Feder *k*, die am Galgen *i* befestigt ist, kann dieser Hebel zwei Lagen einnehmen. Die der Feder zugekehrte Fläche des Hebels nahe seinem Drehpunkte gestattet dem Hebel nur eine Stellung zu geben, bei welcher er von dem Drucke der Feder frei ist, das ist die Stellung, welche er in Fig. 3 hat (in Fig. 4 ist diese Stellung durch punktirte Linien angedeutet). Ein leiser Anstoss genügt, um den Hebel aus dieser Stellung zu bringen. Die Feder legt sich dann an seine breite Fläche an, wirft ihn gegen die Klemmschraube *g'* um und drückt ihn gegen dieselbe fest an. An seinem vorderen Rand ist ein Platinplättchen angebracht, das mit einer an der Klemme *g'* befindlichen Platinspitze einen guten Contact bildet. Da der Hebel in constant leitender Verbindung mit der zweiten Klemme *g* steht, so wird durch ein solches Umklappen des Hebels *e* der primäre Kreis geschlossen, dessen Enden den Klemmen *g* und *g'* zugeführt sind.

Der Anstoss zum Umklappen des Hebels wird durch den an der Scheibe *a* angebrachten Fortsatz gegeben. Im Moment, wo der Schliessungsinductionsschlag dem Nerven ertheilt werden soll, wird die Platte *d* an der Platte *e* so weit vorgeschoben, dass der Hebel *c* in den Bereich des Fortsatzes *b* kommt.

Will man einen Oeffnungsinductionsschlag benutzen, so bringt man an dem Hebel *c* rechtwinklig einen Fortsatz an, der bei hergestelltem Contacte zwischen *c* und *g* in den Bereich des Fortsatzes *b* gebracht werden kann. Selbstverständ-

lich muss dabei die Stellung des Unterbrechers zu der Richtung der Cylinderdrehung eine andere sein, als bei der Benutzung des Schliessungsschlages. Sowohl die Herstellung, als die Lösung des Contactes geschieht in vollkommener Weise.

Die Ausführung des Versuchs ist zwar sonst wenig umständlich, verlangt aber einen Gehilfen, der den Schreibhebel an die Scheibe senkt in dem Moment, wo der Beobachter die Platte *d* soweit vorschiebt, dass *c* in die Reichweite des Stiftes *b* kommt.

Die Elektroden, welche ich zur Reizung des Rückenmarks verwendete, sind auf Taf. IV Fig. 14 und 14a abgebildet. Zwei ganz feine Stahlnadeln sind in einen Griff aus Kammmasse eingelassen; jede Nadel steht in Verbindung mit einer kleinen Klemmschraube (*a* und *a'* Fig. 14a). Der Griff besitzt einen viereckigen Ausschnitt *b*, der ihm gestattet, auf dem viereckigen, mit einer feinen Millimetertheilung versehenen Messingstab *c* sich zu verschieben. Eine bei *b* angebrachte Feder nebst Zeiger dient zur Ablesung des jemaligen Standes der Elektroden und sichert ihre Stellung. Mittelst einer gewöhnlichen Hülse wird das Messingstück auf das Brett des Marey'schen Myographions (Fig. 2 Taf. LI) in jeder beliebigen Stellung fixirt.

Der Frosch wird auf diesem Brette ganz unbeweglich festgebunden, so dass sein Rumpf in keiner Richtung sich verschieben kann. Um die Tiefe der Einsenkung den Elektroden zu reguliren, genügt es, ein Korkstückchen auf die aus dem Griff hervorragenden Spitzen aufzuschieben; dadurch wird auch ihre gegenseitige Entfernung gesichert.

Die Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit geschah mehrere Mal abwechselnd an dem Hirn ferneren und näheren Stellen, um vor Veränderung der Leitungsgeschwindigkeit durch Abnahme der Rückenmarkserregbarkeit geschützt zu sein. Uebrigens hält sich die Erregbarkeit des Rückenmarks bei sorgfältiger Präparation und Schutz vor Verdunstung längere Zeit unverändert. Wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Rückenmarks mit der des Nerven desselben Frosches verglichen werden sollte, so liess ich das eine Mal eine Zuckung des Gastrocnemius bei Reizung der vorderen Wurzeln, das andere Mal bei Reizung des Ischiadicus in der Nähe der Kniekehle aufzeichnen. Die dazu benutzten Elektroden waren den auf Taf. LI Fig. 2 sichtbaren ähnlich construirt. Die gereizten Stellen wurden dann durch Unterbindungen markirt und die Entfernung zwischen ihnen später am herauspräparirten Nerven gemessen.

Nachdem so die meisten zur Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit am Nerven gebrauchten Vorrichtungen mit constanter oder beschleunigter Rotationsgeschwindigkeit beschrieben wurden, sollen einige Angaben über die Art, wie die mit ihnen erhaltenen Curven auszumessen sind, folgen.

Sieht man von der eigenen Geschwindigkeit, welche der ziemlich schwere Hebel beim gewöhnlich gebrauchten Helmholtz'schen Myographion durch die Muskelzuckung erlangt, vorläufig ganz ab, setzt man also voraus, dass der zeichnende Stift seine Geschwindigkeit allein dem sich contrahirenden Muskel verdankt, so wird die Dauer jeder einzelnen Phase der Muskelzuckungen durch die zeitmessende Abscisse gegeben.

Wird nur eine Curve auf der Trommel aufgezeichnet und nimmt das Myogramm nur einen Umfang der Trommel ein, so bietet die Ausmessung der Curve.

sobald sie in der oben angegebenen Weise auf Papier abgeklatscht wird, weiter keine Schwierigkeiten. Wenn die Trommel nicht zu stark berusst wird, so bekommt man feine gut begrenzte weisse Linien, auf denen man die beliebigen Abstände auf das Genaueste ausmessen kann. Die mit der Loupe etwa sichtbaren Zacken an diesen Rändern können vernachlässigt werden.

Schwieriger wird die Ausmessung der Curven, wenn, wie bei Versuchen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven, mehrere Zuckungscurven nebeneinander auf derselben Abscisse gezeichnet sind und man genau die Entfernung der Curvenstücke von einander erhalten muss.

Diese Schwierigkeit wird noch gesteigert, wenn bei grosser Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel das vollständige Myogramm mehr als einen Kreisumfang einnimmt, oder wenn gar die zeichnende Spitze nicht schnell genug von dem Cylinder abgehoben worden ist, so dass der letztere einige Mal vor der Spitze vorübergegangen ist. Wie fein die Russschicht auf der Cylinderfläche auch sein mag, so lässt sich in solchem Falle der Abhebepunkt der Curve sehr schwer mit Genauigkeit ermitteln. Der horizontale Abstand der Abscisse zwischen den beiden Abhebepunkten der Curven, welcher die Zeit angiebt, die die Erregung gebraucht hat, um die Strecke zwischen den beiden Reizstellen zu durchlaufen, ist dabei gar nicht mit Genauigkeit zu erhalten. Sind die beiden Curven genau congruent, so kann man sich noch damit helfen, dass man den horizontalen Abstand zweier höher gelegener Curvenpunkte misst. Es gelingt aber nur selten, congruente Curven zu erhalten, und in diesen Fällen ist eine solche Ausmessung nicht zulässig. Man muss sich dann mit dem orthogonalen Abstande begnügen.

Werden um eine verticale Axe rotirende Scheiben zur Aufzeichnung der Myogramme verwendet und lässt sich (wie es bei meinen Versuchen der Fall war) der ganze schreibende Apparat sammt Frosch so verschieben, dass die zeichnende Spitze in verschiedenen Abständen vom Centrum der Scheibe sich befindet, so lässt sich die Messung leichter genau ausführen. Es genügt dazu, die Myogramme auf verschiedenen Kreisen der Scheibe zu zeichnen. Abgesehen von der grösseren Gleichmässigkeit der Umdrehung, welche mit dem Foucault'schen Centrifugalregulator erhalten wird, war dies der Hauptgrund, warum ich der Scheibe vor der Trommel den Vorzug gegeben habe. Die verzerrte Form der Curve ist von weiter keinem Nachtheile, da es sich doch nur darum handelt, den Abstand der Curven zu ermitteln, welcher der Zeit entspricht, die die Erregung brauchte, um eine gegebene Nerven- oder Rückenmarksstrecke zu durchlaufen.

Die Ausmessung geschah schnell und vollkommen genau in folgender Weise. Die Glasscheibe wurde von der Axe des Windfanges entfernt und auf ein Stäbchen gesetzt, das genau im Centrum eine feine Nadelspitze führte. Mit einem Zirkel wurden die Radien der beiden bogenförmigen Abscissen bestimmt, wobei die Nadelspitze als Centrum benutzt wurde. Mit demselben Zirkel wurde sodann die Sehne der Bogen gemessen, vom Beginne der Reizung bis zum Abhebepunkte der Curve. Aus diesen beiden Grössen wurde darauf die Grösse der Winkel bestimmt, welche diesem Bogen entsprachen. Da beide Curven bei gleicher Geschwindigkeit gezeichnet wurden, so war die gesuchte Zeit leicht zu finden.

Wird auf der Scheibe mit einem Chronograph die Zeit verzeichnet, dann ist die Messung noch einfacher. An die erwähnte im Centrum befindliche Nadelspitze

werden zwei feine Coconfäden, mit Lothen versehen, befestigt und mit diesen als Radien benutzten Fäden der Bogen, welcher vom Beginn der Reizung bis zum Beginn der Muskelzuckung verging, eingeschlossen, indem man die Lothe über den Rand der Scheibe herunterhängen liess. Zählt man die zwischen beiden Fäden befindlichen Schwingungen der Stimmgabel, so hat man direct die gesuchte Zeit.

Wird bei den Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit doch dem Cylinder der Vorzug gegeben, so könnte man, um ganz genaue Messungen möglich zu machen, zu folgendem Kunstgriff seine Zuflucht nehmen. Anstatt die Muskelcurve auf den Cylinder zeichnen zu lassen, müsste man die Einrichtung treffen, dass der Beginn der Muskelzuckung einen Contact löste, etwa in der Weise, wie es Helmholtz bei seinen ersten Versuchen mit Hilfe der Pouillet'schen Methode gemacht hat. Durch die Lösung dieses Contactes sollte ein Strom unterbrochen werden, der einen Elektromagnet umkreist. Ein von diesem Elektromagnet festgehaltener Anker aus weichem Eisen, der beim Oeffnen des Stromes frei fiele, würde auf den rotirenden Cylinder die Fallcurve aufzeichnen (Troitzky).

Bei Reizung des Nerven an zwei verschiedenen Stellen würde der Abstand zwischen den beiden Fallcurven genau der Zeit entsprechen, welche die Erregung im Nerven gebrauchte, um von der entfernteren Reizstelle zur näheren zu gelangen. Da die Fallcurven genau congruent sind, so würde die Bestimmung dieses Abstandes weiter keine Schwierigkeit bieten.

Eine solche Ausmessung würde zwar den Nachtheil nach sich ziehen, dass man von der Form der Muskelzuckungen keine Vorstellung bekommt, also keine Mittel besässe, um etwaige im Nerven zwischen den beiden Versuchen vorgegangene Veränderungen zu ermitteln. Der daraus entstehende Nachtheil würde aber nur äusserst selten sich fühlbar machen und meistens schon durch den Vortheil überwogen werden, dass die Fallcurve die wirkliche Geschwindigkeit des fallenden Körpers ausdrücken wird, während die durch das gewöhnliche Helmholtz'sche Myographion gezeichnete Muskelcurve durch das schwere Hebelwerk nicht unmerklich verzerrt wird (s. u.).

Wenn es aber auch gelingt, die Abstände zwischen den beiden Abhebepunkten der Curve ganz genau auszumessen, so hängt die Zuverlässigkeit der gemachten Messung noch einerseits von der Gleichmässigkeit der Rotation des Cylinders oder der Scheibe, andererseits von der richtigen Bestimmung des Zeitpunktes, wo die Rotation die gewünschte Geschwindigkeit erlangt, ab.

Die Herstellung einer gleichartigen Bewegung[1]) durch ein Uhrwerk ist aber eine sehr schwer zu lösende mechanische Aufgabe, besonders wenn die Gleichmässigkeit soweit gehen soll, dass auch bei kleinsten Bruchtheilen einer Secunde keine Differenzen vorkommen sollen. Man muss daher die Gleichmässigkeit mit Hilfe von Regulatoren zu erreichen suchen, die an den Uhrwerken angebracht werden. Die ausgezeichneten von Baltzar und Schmidt und Breguet gelieferten Uhrwerke, welche im zweiten Capitel beschrieben wurden, sind daher mit dem Foucault'schen Regulator verbunden; das von Helmholtz gebrauchte Uhrwerk

1) In den gewöhnlichen Uhren hat man bekanntlich ein periodisches Eingreifen in eine beschleunigte Bewegung durch Pendel, gleichgültig, ob diese Bewegung durch Entspannen einer Feder oder durch ein Gewicht erzeugt ist.

war aus demselben Grund mit Windfangflügeln und schweren Schwungscheiben versehen.

So nützlich diese regulirenden Vorrichtungen, besonders der Foucault'sche Regulator auch sind, so muss man dennoch durch Controlvorrichtungen die Gleichmässigkeit der Bewegung besonders überwachen. Es sind im zweiten Capitel § VII einige solche Vorrichtungen beschrieben worden, welche sich für langsame Rotationen sehr gut eignen. Sie bestehen darin, dass man durch eine Pendeluhr in regelmässigen Intervallen einen Strom unterbricht, der einen Elektromagnet umkreist. Beim Schliessen und Oeffnen des Stromes wird von dem Elektromagnet ein Schreibhebel angezogen oder losgelassen, dessen Excursionen auf der Trommel verzeichnet werden.

Bei Trommeln, die mit grosser Geschwindigkeit sich bewegen, reichen aber diese Zeitmarkirer nicht mehr aus; man muss hier zu schwingenden Stimmgabeln seine Zuflucht nehmen, welche ihre Bewegungen aufzeichnen. Die Stimmgabeln werden dabei entweder durch Anschlagen resp. Anstreichen oder durch Elektromagnete in Schwingungen versetzt. Im zweiten Paragraph dieses Capitels sind zwei Stimmgabelvorrichtungen letzterer Art beschrieben, deren Excursionen man sehr leicht auf einer berussten Trommel verzeichnen kann. Es genügt dazu, an eine der Zinken eine feine gebogene Glasspitze oder eine zugespitzte Gänsefeder zu befestigen, die mit geringer Reibung auf der berussten Fläche sich bewegen kann.

Man kann die Schwingungen einer Stimmgabel auch in der Weise verzeichnen, dass man die eine Zinke leise eine Marey'sche Lufttrommel berühren lässt; die leichten Schwankungen der Luftdichte, welche die Schwingungen der Zinke erzeugen, können noch sehr deutlich von dem Hebel eines Tambour enregistreur verzeichnet werden.

Ganz vorzüglich eignet sich aber der von Marey construirte Chronograph (Taf. XVII Fig. 2) zur Uebertragung der Stimmgabelschwingungen auf eine berusste Fläche. Der grosse Vortheil dieses Chronographen liegt darin, dass die schwingende Feder durch geeignete Einstellung bis auf 100 ganz regelmässige Schwingungen gebracht werden kann. Diese Einrichtung ist durch die Möglichkeit gegeben, die Länge der schwingenden Feder in ziemlich weiten Grenzen zu variiren.

Durch den Holzgriff *A A* sind zwei umsponnene Drähte durchgeführt, die einerseits mit je einer Klemmschraube *D E* verknüpft sind, andererseits den Elektromagnet *G* umwinden. Ein Strom, der durch die eine Klemmschraube eintritt, umkreist den Elektromagnet und verlässt den Chronograph durch die andere Klemmschraube. Der Elektromagnet nebst der Schreibvorrichtung wird von dem Winkelstücke aus Messing *H, K, E, F* getragen.

Gegenüber dem Elektromagnet ist die Stahlfeder *M* angebracht, die von der Zwinge *L* in beliebiger Höhe festgeklemmt werden kann. Die Zwinge ist zu diesem Zweck durch die Schraube *Y* verschiebbar. Die Stahlfeder trägt bei *O* ein kleines Stück weiches Eisen, das von dem Elektromagnet *G* angezogen werden kann. *Q* ist ein feiner Streifen einer Federspule, der die Schwingungen der Stahlfeder *M* aufzeichnet.

Sind die Klemmschrauben *D E*, *D E* durch eine Stimmgabel unterbrochen, z. B. nach Art des auf derselben Tafel Fig. 3 abgebildeten mit einem Element verbunden, so wird die Stahlfeder *M* durch den Elektromagnet in regelmässige Schwingungen gebracht, wenn ihre Schwingungszahl mit der der Stimmgabel über-

einstimmt. Diese Uebereinstimmung wird durch Aenderungen der Länge des mitschwingenden Theils von *M* mit Hilfe der Schraube *Y* leicht hergestellt. Der Chronograph kann auf diese Weise mit Stimmgabeln von beliebiger Schwingungszahl verbunden werden. Er kann aber auch die doppelte Schwingungszahl derselben Stimmgabel aufzeichnen, wenn man ihn auf deren Octave abstimmt. Man befestigt den Chronograph in der gewünschten Stellung mittelst der Metallstäbe *C* und *B* des Griffes oder man hält ihn einfach mit der Hand. Aus eigener Erfahrung weiss ich, dass dieser Chronograph, von Breguet gearbeitet, bis zu 100 Schwingungen in der Secunde mit der grössten Regelmässigkeit verzeichnet. Eine grössere Schwingungszahl ist selten für die Controle auch der am schnellsten rotirenden Cylinder erforderlich, da, wenn die Trommel innerhalb $^1/_{100}$ Secunde sich ganz gleichmässig bewegt, man den Gang des Uhrwerks für absolut gleichmässig annehmen kann.[1])

Der auf Taf. XVIII Fig. 3 abgebildete Zeitmarkirer von Baltzar und Schmidt verzeichnet $^1/_{20}$ Secunden noch mit grosser Genauigkeit. Derselbe ist im Princip dem Zeitmarkirer von Bowditch (Taf. XIX Fig. 1 und 2 Seite 133) nachgebildet. Zwei Messingplatten *s s* sind miteinander mittelst zweier Querbalken *n n* verbunden. Zwischen diese Messingplatten sind, durch die Platte *q* aus Hartgummi isolirt, zwei Elektromagnete *b b* eingeschaltet.[2])

Ein zweiarmiger Anker aus weichem Eisen *d* (ganz ähnlich dem Anker *B B* in Fig. 2 Taf. XIX), an die Welle *c* zwischen den beiden Elektromagneten befestigt, ist um deren Axe drehbar. Die Drehung geschieht durch Anziehung an die beiden Elektromagnete *b b* jedesmal, wenn der sie umkreisende Strom geschlossen wird. Bei der Oeffnung des Stromes bringt die Springfeder *v w* die Welle *c*, also auch den Anker *d* in die Ruhelage zurück.

Ein langer Messingarm *f*, dem man durch Biegung die gewünschte Stellung geben kann, ist durch die Schraube *p* an den Anker *d* befestigt. An dem freien Ende dieses Armes befindet sich eine Fassung für die Glasfeder *g*, welche mit Tinte gefüllt wird.[3]) Durch den Eisenstab *R*, der den Querbalken *n* umfasst, wird

---

1) Mercadier hat unlängst Stimmgabelvorrichtungen beschrieben, die durch einen zwischen den Zinken befestigten Elektromagnet bis zu 1000 regelmässige Schwingungen in der Secunde machen, welche mittelst leichter Spitzen auf berusster Tafel verzeichnet werden können.

2) Von dem einen Elektromagnet ist auf der Zeichnung das Mittelstück der Deutlichkeit wegen ausgeschnitten.

3) Die übrigen am Zeitmarkirer angebrachten Stücke dienen dazu, um auf der rotirenden Trommel den Beginn und das Ende einer Nervenreizung zu verzeichnen. Sie bilden eine Nebenschliessung zwischen den Enden der Nebenrolle und dem Nerven und sind ganz in derselben Weise wie der Anker des Zeitmarkirers mit einer Schreibfeder *g* verbunden. Der Arm *f*, welcher diese Feder trägt, ist mit der Welle *h* verbunden. Der Nerv wird in den Kreis der Nebenrolle eingeschaltet, wenn diese Welle *h* durch Niederdrücken des Griffes *m* in der Weise gedreht wird, dass deren Fortsatz *k* einen Contact zwischen den unteren Klemmen *a a* löst, die durch Drähte mit der Nebenrolle verknüpft sind. Solche Reizmarkirer müssen überall angewendet werden, wo der Beginn, die Dauer und das Ende der Reizung genau verzeichnet werden sollen. Am bequemsten ist, man stellt ihre Feder mit der Feder des Zeitmarkirers und der Feder, welche die in dem thierischen Theile vor sich gehende Bewegung, z. B. die Blutdruckschwankungen aufzeichnet, in einer verticalen Linie unter einander ein.

Taf. XIII Fig. 1 zeigt einen ähnlichen, aber selbständigen Zeitmarkirer, der auf dem Grundbrett *C C* befestigt ist. Durch Niederdrücken des Holzgriffs *a* wird bei *k* der Contact

der Markirer auf der Platte *F* (Fig. 1 Taf. XVIII) auf die aus der Zeichnung verständliche Weise befestigt. Dieser Zeitmarkirer kann also auch auf unberusstem Papier zeichnen. Er wird in Thätigkeit versetzt durch ein Metronom oder die Unterbrechungsuhr (Taf. XXXIX Fig. 1) bei geringeren Umdrehungsgeschwindigkeiten der Trommel, durch einen bis 20 Schwingungen in der Secunde machenden schwingenden Stab, wenn kürzere Zeitabschnitte angegeben werden sollen.

Die chronographischen Aufzeichnungen auf den schnell rotirenden Cylindern haben ausser der Controle der Gleichmässigkeit ihrer Umdrehungen noch den sehr wichtigen Nutzen, dass sie gleichzeitig die Dauer der Umdrehung ganz genau angeben. Auch in dieser Hinsicht sind sie bei genauen Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit Hilfe rotirender Cylinder im Nerven unentbehrlich. Da nämlich die Cylinder nur nach einer gewissen Anzahl von Umdrehungen ihre grösste Geschwindigkeit erlangen, so kann man durch zu frühe Aufnahme der Muskelcurve leicht über die Umdrehungsgeschwindigkeit getäuscht werden. (Bei der Einrichtung der Schwungscheibe nach du Rois-Reymond, wo der Zahn erst bei einer gewissen Geschwindigkeit vorspringt und den Strom unterbricht, ist diese Gefahr übrigens beseitigt.)

Chronographische Aufzeichnungen machen solche Täuschungen unmöglich.

Die aus dem Vorhergehenden zur Genüge einleuchtenden Schwierigkeiten, welche die Herstellung der Myographien mit stetiger oder beschleunigter Rotation bietet, haben seit einiger Zeit der zweiten Gruppe von Myographien Eingang verschafft, bei welchen die Zeichenfläche mit einer kurzdauernden aber genau bestimmbaren Geschwindigkeit vor dem Zeichenstift vorbei geführt wird.

Harless hat zuerst ein Myographion construirt, welchem dieses Princip zu Grunde gelegt wurde; es war der Atwood'schen Fallmaschine nachgebildet und wurde daher von Harless als Atwood'sches Myographion bezeichnet.

In diesem Myographion war die Zeichenfläche durch ein Gegengewicht aequilibrirt. Durch das Fallen eines Uebergewichts in aufsteigender Richtung wurde diese Zeichenfläche zuerst mit beschleunigter Geschwindigkeit, und dann durch Wegnahme dieses Uebergewichts mit gleichmässiger Geschwindigkeit bewegt. Das Wegnehmen des Gewichts durch eine Gabelvorrichtung geschah in demselben Moment, wo der Strom des primären Kreises geschlossen wurde. Die Zuckung wurde daher auf der Zeichenfläche aufgetragen, als sie sich mit gleichmässiger Geschwindigkeit bewegte. Die Zeiträume wurden auf der Zeichenfläche aus der Grösse des Weges berechnet, welchen das in der Luft fallende Gewicht zurücklegte.[1])

Fruchtbarer als das Harless'sche Fallmyographion hat sich die von

gelöst, welcher eine gute Nebenschliessung für die Enden der Nebenrolle eines Inductionsapparates bildete. Mittelst der auf der Zeichnung sichtbaren Klemmschrauben wird dieser Apparat in derselben Weise wie der Vorreiberschlüssel von du Bois-Reymond in den Kreis eingeführt. Der mit dem Hebel *e h* verbundene Stab *i i* trägt am Arme *l* die Schreibfeder. Die Sprungfeder *k* drückt den Arm *h* herunter, stellt also die Nebenschliessung wieder her, sobald man den Griff *e* loslässt. Das Quecksilbernäpfchen *g* mit dem in dasselbe tauchenden Platindraht ist mit der Säule *d* leitend verbunden und dient dazu, die Nebenschliessung durch einen zweiten Contact zu sichern.

1) In neuester Zeit hat Jendrássik ein Fallmyographion construirt, das auf ganz demselben Princip wie das Harless'sche beruht.

Fick vorgeschlagene Benutzung des Pendels zur Bewegung der Zeichenfläche erwiesen.

Ein schweres eisernes Pendel, welches eine berusste Glasplatte trägt, wird von einer genau bestimmten Lage in Schwung gesetzt, nach dessen Vollführung es durch eine Sperrvorrichtung festgehalten wird. Vor der, in der Schwingungsebene des Pendels befestigten Glasplatte, wird die Zeichenspitze eines gewöhnlichen Helmholtz'schen Myographions aufgestellt, die bei Zuckung des Muskels sich in verticaler Richtung an dieser Platte bewegt. Bei einer gewissen Lage, welche das Pendel während seiner Schwingung einnimmt, wirft es einen Hebel [1]) um, der den primären Kreis einer Inductionsvorrichtung schliesst, öffnet damit diesen Kreis und ertheilt dem Nerv einen Reiz.

Die durch diesen Reiz ausgelöste Zuckung wird auf der berussten Fläche aufgezeichnet.

Solche Pendelmyographion sind in etwas abweichender Gestalt von dem ursprünglichen Fick'schen später von Helmholtz, Wundt und Anderen angewendet worden. Auf Taf. *3* und *4* ist die vollkommenere Einrichtung wiedergegeben, welche das Pendelmyographion von Helmholtz erhalten hat.

Der Rahmen aus Gusseisen *C, C, D, D* ist an das Holzbrett *A, A, A* befestigt und trägt an den zwei gegenüberstehenden Stäben zwei Axenlager aus Stahl für die Stahlschneiden des schweren eisernen Pendels *F, F, F, F*. *E, E* ist der Querbalken, welcher die beiden Stahlschneiden trägt, mittelst deren das Pendel auf dem eisernen Rahmen aufgehängt ist. *d* ist ein Messingarm, der einen leichten Rahmen trägt, in welchem die Glasplatte *g, g* befestigt ist. Auf der hinteren Fläche des Pendels befindet sich ein zweiter ganz gleicher Rahmen für die Aufnahme der zweiten Glasplatte *g' g'*. Die vordere Platte dient zur Aufnahme der Muskelcurve, die hintere zum Aequilibriren der vorderen; zu diesem Zwecke werden beide Platten auf einer Waage tarirt und etwaige Ungleichheiten ihres Gewichtes durch entsprechendes Beschweren ihrer Rahmen ausgeglichen. Beide Rahmen der Platten ruhen in zwei Messingschlitten, welche durch die Kurbel *b* so bewegt werden können, dass, während der vordere Schlitten nach oben sich bewegt, der hintere um genau dieselbe Strecke nach unten verschoben wird und umgekehrt. Damit erzielt man die Möglichkeit, mehrere Curven übereinander durch Verschiebung der Zeichenfläche auf die vordere Platte schreiben zu können, ohne dass durch diese Verschiebung die Aequilibrirung der Platte gestört wird.

Die Daumen *f* und *f'* dienen sowohl dazu, um das Pendel bei *e* und *e'* einhaken zu können, als auch um bei der Schwingung des Pendels den Hebel umzuwerfen, der den Strom des primären Kreises geschlossen hält. Die auf den Ständern *H* und *H'* ruhenden Halter bestehen aus zwischen Spitzen drehbaren Hebeln, welche auf Stahlfedern aufliegen und bei *e* und *e'* Ansätze besitzen, welche die Daumen *f* und *f'* auffangen. Durch das Niederdrücken der Feder wird der Ansatz *e* des Hebels gesenkt und das Pendel beginnt seine Schwingung.

1) In dem ursprünglichen Ficks'chen Pendelmyographion wurde die Unterbrechung des Stromes durch das Herausheben von Spitzen, die in Quecksilbernäpfe tauchten, bewirkt. Diese Einrichtung kann, wie du Bois-Reymond ganz richtig bemerkt, zu Irrthümern Veranlassung geben, da das Austauchen der Spitzen kaum immer bei derselben Stellung des Pendels geschehen wird.

Am Ende der Schwingung drückt der Daumen *f* den Ansatz *e* etwas nach unten und wird von ihm aufgefangen; die zurückschnellende Feder hält ihn hier fest. Um das Auffangen des Pendels zu erleichtern, ist der Ansatz *e* der Gleichgewichtslage des Pendels etwas näher gerückt als *e'*.

Will man die Schwingungsamplituden des Pendels variiren, um verschiedene Geschwindigkeiten zu erhalten, so kann man den Ansätzen *e* und *e'* verschiedene Stellungen geben. Man wirft zu diesem Zwecke ihre Hebel auf die Federn um welche an der Rückseite der Ständer *H* und *H'* angebracht sind (s. Fig. 3.)

Ist es wünschenswerth ausser diesen beiden Grenzgeschwindigkeiten noch Zwischenstufen zu erlangen, so genügt es zu diesem Zweck die Ansätze in Schlitzen der Hebel verschiebbar zu machen.

Die Vorrichtung, welche zur Unterbrechung des Stromes durch den Daumen *f* dient, ist in Fig. 5 derselben Tafel dargestellt. Zwei auf einer Platte aus Kammmasse befestigte Winkelstücke tragen Lager für die Welle *g*, welche mit dem Hebel *b* verbunden ist. An einer oberen Spitze trägt dieser Hebel ein Platinplättchen zum Contact mit der Platinspitze, welche die durch eine Gegenschraube genau einstellbare Schraube *a* besitzt. Die Säule *d*, welche diese Schraube trägt, ist mit dem einen Ende des primären Kreises, der Hebel *b* durch seine Welle und durch die auf der Zeichnung sichtbare Feder nebst Klemmschraube mit dem zweiten Ende verbunden.

Diese Feder drückt den Hebel *b* an die Schraubenspitze *a* fest an und sichert so den Contact. Das auf der Welle *g* ruhende Rädchen *f* nebst Faden dient dazu, den Hebel *b* an die Spitze *a* anzulegen.

Dieser Unterbrecher wird auf dem horizontalen Tisch *B* des Pendelmyographions (Fig. 3) in der Weise angeschraubt, dass bei herrschendem Contacte zwischen *a* und *b* die Spitze des Hebels *b* in der Gleichgewichtslage des Pendels von dem Daumen *f* ergriffen und von der Schraube fortgerissen wird.

Das Helmholtz'sche Pendelmyographion muss mittelst des Brettes *A A* und des mit ihm verbundenen Tisches *B* unbeweglich an eine gemauerte Wand befestigt werden, damit durch die Schwingungen des schweren Pendels keine Erschütterung der Nebenvorrichtungen entstehe.

Es ist, wenn irgend möglich, dafür zu sorgen, dass die Zeichenspitze des Myographions schon vor Beginn des Schwunges anliegt. Ist die Schwingungsamplitude nicht besonders gross, so geht dies sehr leicht. Im entgegengesetzten Falle muss das Anlegen der Spitze während der Schwingung in einer Weise geschehen, dass sie nicht durch ein Gewicht, sondern durch die Spannung einer Feder (Fick) oder durch ein Kautschukbändchen (Bernstein) an die Platte gedrückt wird.

Die Deutung der vom Pendelmyographion gelieferten Curven ist etwas complicirter, als bei den Myographien mit rotirenden Cylindern. Die Abscissenlinie ist ein Kreis, und die gleichen Abstände der Abscissenaxe entsprechen verschiedenen Zeiträumen. Bewegt sich die Zeichenspitze des Myographions in der senkrechten Ebene, in welcher die Mittellinie der Platte sich in der Gleichgewichtslage befindet, so entsprechen die gleichen Längen der Abscisse auf der Mitte der Platte einer kürzeren Zeit als auf den Seiten derselben, da das Pendel mit beschleunigter

Geschwindigkeit bis zu seiner Gleichgewichtslage herabsinkt und dann mit verzögerter Geschwindigkeit sich von ihr entfernt.

Der einfachste Weg, um zu bestimmen, welchen Zeittheilchen die einzelnen Abschnitte der Curve entprechen, ist der, in derselben Ebene, in welcher sich der Zeichenstift bewegt, die Feder einer schwingenden Stimmgabel zu befestigen, die man kurz vor dem Fallenlassen des Pendels in Schwingungen versetzt. Die handliche Einrichtung des Marey'schen Chronographen (Taf. XVII Fig. 2) eignet sich für diesen Zweck ganz vorzüglich und gestattet das Anlegen der Schreibfeder an einer beliebigen Stelle der Pendelplatte. Bei dem geringen Widerstande der weichen, leicht federnden Gänsefedern würde es auch keinen besonderen Nachtheil bieten, wenn bei grösseren Schwingungsamplituden des Pendels diese Feder erst während des Schwunges in Berührung mit der Platte käme.

Will man sich keiner schwingenden Stimmgabel bedienen, so kann man diese Zeitabschnitte mit Hilfe der elliptischen Functionen für jede der benutzten Amplituden berechnen. Mit Hilfe der von Legendre in seinem Traité des fonctions elliptiques II Table IX gegebenen Tafeln lässt sich die Zeit t für jede Amplitude von Grad zu Grad nach folgender Formel berechnen:

$$t = \frac{TF\varphi\left(\frac{A}{2}\right)}{F90\left(\frac{A}{2}\right)}$$

A ist die gewählte Amplitude, T die Zeit einer Viertelschwingung und

$$\text{Sin } \varphi = \frac{\text{Sin } \frac{\alpha}{2}}{\text{Sin } \frac{A}{2}},$$

wo α den Bogengrad bezeichnet, für welchen man die umgelaufene Zeit sucht, wenn diese von der Mitte des Schwingungsbogens genommen wird. Für die Bruchtheile eines Grades werden die Zeitwerthe bei der Voraussetzung interpolirt, dass die Geschwindigkeit während dieser Zeit eine gleichmässige ist (Wundt).[1])

Zu derselben Gruppe von Myographien gehört auch das Federmyographion von E. du Bois-Reymond. Die Zeichenplatte erhält hier ihre Bewegung durch eine Sprungfeder, die man vorher zusammendrückt und dann plötzlich loslässt. Dieses Myographion ist auf Taf. XLV Fig. 1 abgebildet.

Zwei Ständer A und B sind auf einer schweren gusseisernen Schiene befestigt. Zwischen diesen Ständern sind zwei parallele Stahldrähte angespannt, welche als Führung für den leichten Messingrahmen dienen, in dem die als Zeichenfläche dienende Glasplatte ruht. Der Abstand zwischen A und B ist doppelt so gross als die Länge dieser Platte, so dass diese um ihre ganze Länge sich an den Stahldrähten verschieben kann. Damit wird erreicht, dass, wenn die Zeichenspitze des

1) Für einige Amplituden hat auch Fick (l. c.) Tabellen zusammengestellt, welche gewisse Coefficienten liefern, die für jedes beliebige Pendel gültig sind und die nur mit gewissen von der Natur jedes Pendels abhängigen Constanten multiplicirt zu werden brauchen, um die gesuchten Zeitwerthe zu liefern.

Myographions nahe ihrem Rande angelegt wird, die ganze Zeichenfläche zur Aufnahme des Myogramms benutzt wird.

An den kurzen Seiten des Rahmens sind zwei Stahlstäbe angebracht, welche mit möglichst wenig Reibung in Löchern der beiden Ständer *A* und *B* sich verschieben. Der eine dieser Stäbe trägt bei *b* eine stählerne Sprungfeder, die man zwischen dem Ständer *B* und einem Knopfe zusammendrücken kann.

Die Zeichenplatte wird bei diesem Zusammendrücken an den Ständer *A* genähert, wobei der an diesem Stab angebrachte federnde Fortsatz in eine Kerbe, der sich am Stabe bei *a* befindet, eingreift. Dadurch wird die Sprungfeder an ihrer Wiederausdehnung verhindert. Durch einen Druck auf diesen Fortsatz wird die Feder befreit, sie springt zurück und der Rahmen mit der Zeichenfläche fliegt in der Richtung des Pfeiles von *A* nach *B*. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Zeichenplatte bewegt, hängt von der Kraft der Feder, der bewegten Masse und der Reibung an den Drähten und in den Löchern der Ständer ab.

Diese Geschwindigkeit wächst, bis die Feder ihre Ruhelage überschritten hat; von da an nimmt sie wegen der Reibung immer ab. Der Messingrahmen gelangt aber noch mit einer solchen Geschwindigkeit an dem Ständer *B* an, dass er von demselben mit einer gewissen Kraft zurückgestossen werden könnte. Um diesen Rückstoss zu vermeiden, sind an den Stahldrähten zwei Korke *k k* angebracht, die je nach der Kraft der Feder mehr oder weniger von dem Ständer *B* entfernt werden. Durch ihre Reibung an den Drähten wird die Kraft des Rahmens allmählich erschöpft.

Dem Punkte entsprechend, wo die Feder ihre Ruhelage überschreitet, schlägt ein an dem unteren Rande des Rahmens befindlicher Daumen *d* den Hebel *h* um, wodurch der vorher geschlossene primäre Kreis eines Inductionsapparates plötzlich geöffnet wird. Obgleich der Hebel fest genug anliegt, um den Contact vollständig zu sichern, wird durch sein Umwerfen kein merkliches Hinderniss der Bewegung des Rahmens entgegengesetzt. Auf der Zeichnung ist der Messingrahmen gerade in der Stellung, wo der Daumen *d* den Hebel umwirft.

Um bei diesem Myographion ein stetiges Anlegen der Zeichenspitze zu erzielen, darf dieselbe nicht durch ein Gewicht, sondern nur durch Spannung einer Feder oder eines Kauschukbandes angelegt werden.

Die Geschwindigkeit, welche mit der Triebfeder erlangt wird, hängt von deren Stärke ab; man kann die Triebfeder leicht wechseln und so die Geschwindigkeit beliebig variiren. Mit drei Federn erreichte du Bois-Reymond Geschwindigkeiten von 1088 bis 2522 Mm. in der Secunde, also für die Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit vollkommen ausreichende Werthe. In dieser Hinsicht gebührt sogar dem Federmyographion insofern vor dem Pendelmyographion der Vorrang, als, um bei diesem letzteren dieselben Geschwindigkeiten zu erlangen, ein mathematisches Pendel von 1000 Mm. Länge aus Ablenkungen von 20° bis 42° fallen müsste. Es müsste also die Zeichenspitze der Zeichenfläche erst während des Schwunges angelegt werden, was man aus mehreren Gründen besser vermeidet. (Beim Fick'schen Myographion konnte die Zeichenspitze nur dann früher angelegt werden, wenn die Ablenkung 15° nicht überschritt.)

Die Ausmessung der Curven kann am Federmyographion nur mit Hilfe einer schwingenden Stimmgabel geschehen, die übrigens hier leicht anzubringen ist.

Schwann hat am Federmyographion eine Einrichtung getroffen, bei welcher derselbe Schlag, welcher den federnden Fortsatz bei *A* niederdrückt und so den Messingrahmen in Bewegung setzt, auch eine Stimmgabel in Schwingung versetzt. Eine zweite Veränderung, die Schwann angebracht hat, besteht darin, dass, anstatt den Contact durch das Umwerfen eines Hebels zu lösen, dies durch Unterbrechung eines schleifenden Contactes an der unteren Seite des Rahmens geschieht.[1])

Mit Hilfe einer schwingenden Stimmgabel lässt sich auch constatiren, dass die Bewegung der Zeichenfläche beim Gebrauch derselben Triebfeder jedesmal mit derselben Geschwindigkeit geschieht. Zwei Stimmgabelcurven lassen von einem Male zum andern in dieser Hinsicht keine Unterschiede erkennen. Ausgenommen ist nur das Endstück der Curve, welches je nach der Einstellung der Korke verschieden starke Hemmung durch Reibung aufweist. Auf diese Endstücke der Zuckungscurve kommt es übrigens bei Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit auch wenig an.

Mit dem Pendelmyographion theilt das Federmyographion den Vortheil vor den Myographien mit rotirenden Cylindern, dass auch mit ihm eine Reihe von Versuchen in viel schnellerer Aufeinanderfolge sich anstellen lässt, was namentlich für die möglichste Congruenz der Curven von Bedeutung ist.

Dagegen hat das Federmyographion vor dem Pendelmyographion die leichtere Uebertragbarkeit und Handlichkeit, wie auch die grössere Einfachheit der Einrichtung voraus. Auch lassen sich die Curven mit geradliniger Abscisse leichter deuten.

Der Vortheil der grösseren Geschwindigkeiten beim Gebrauch stärkerer Federn fällt weniger ins Gewicht, seitdem du Bois-Reymond nachgewiesen hat, dass Steigerung der Geschwindigkeit über ein gewisses Maass hinaus, wenigstens beim Gebrauch der Helmholtz'schen Einrichtung des Schreibhebels, weder den Abstand der congruenten Curven merklich ändert, noch die genaue Messung dieses Abstandes erleichtert.

Bei einem Verhältnisse der Geschwindigkeit der Zeichenfläche zu der der Zeichenspitze von 5 zu 1 wird schon die Grenze erreicht, bei deren Ueberschreitung durch Verstärkung der ersten Geschwindigkeit der orthogonale Abstand zweier congruenten Curven nicht merklich wächst. Du Bois-Reymond findet ferner, dass die Genauigkeit, mit welcher der wahre Abstand der Curven gemessen werden kann, dem orthogonalen Abstande proportional ist; es ist also rathsamer, um die Genauigkeit der Messung zu erhöhen, nicht die Geschwindigkeit der Zeichenfläche unnütz über eine gewisse Grenze hinaus zu steigern, sondern die Geschwindigkeit des Zeichenstiftes zu vergrössern. Dies kann entweder durch Verlängerung des Schreibhebels oder dadurch geschehen, dass man den Angriffspunkt des Muskels dem Drehpunkt des Hebels näher rückt. Bei Benutzung des Helmholtz'schen Schreibhebels wäre das erstere Verfahren wegen der dabei nothwendigen Zunahme der bewegten Masse etwas bedenklich. Dagegen kann eine solche Verlängerung bei Benutzung der leichten, fast gewichtslosen Schreibhebel von Marey ohne Besorgniss geschehen.

1) Aus freundlichen schriftlichen und mündlichen Mittheilungen bekannt.

Am Schlusse noch einige Worte über die Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung in den Nerven von Menschen. Der früher nach Helmholtz auch von anderen Beobachtern dazu eingeschlagene Weg bestand darin, dass man die Haut auf zwei Punkten, die in verschiedener Entfernung vom Gehirn gelegen waren, bei einem Menschen reizte und durch irgend ein Signal das Moment verzeichnen liess, in welchem der Reiz zum Bewusstsein gelangte. Sowohl das Moment der Reizung, als das Moment der Reaction, wurden durch Unterbrechungen elektrischer Ströme, durch das Hipp'sche Chronoskop oder andere zeitmessende Vorrichtungen genau markirt. Der Zeitunterschied zwischen diesen Momenten bei Reizung einer vom Gehirne entfernteren und einer dem Gehirne näheren Hautstelle wurde auf den Längenunterschied der Bahn bezogen, welchen die Erregung beide Male zu durchlaufen hatte.

Auf diese Weise wurde von den einen Beobachtern Hirsch, Schelske u. A. eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit gefunden, welche der des Frosches sehr nahe stand, von Helmholtz dagegen eine etwa zweimal so hohe. Wie sich später aus der bei Helmholtz ausgeführten Untersuchung von Baxt herausstellte, beruhten diese Differenzen zwar nicht auf Fehlern, welche in diesen Messmethoden selbst lagen, sondern nur auf Unterschieden der Temperatur, bei der diese Messungen von den verschiedenen Beobachtern angestellt wurden. Dennoch war diese Methode aus nahe liegenden Gründen nicht ganz vorwurfsfrei.

Bei allen diesen Messungen musste stillschweigend vorausgesetzt werden, dass die Zeit, welche auf den Ablauf der psychischen Acte zwischen der Ankunft der Erregung im Gehirn und der Auslösung des Bewegungsreizes verstreicht, die sogenannte physiologische Zeit, bei beiden Reizungen die gleiche ist. Diese Voraussetzung konnte nicht immer zutreffend sein. Es ist erstens sehr schwierig, auf verschiedene Hautstellen Reize von ganz gleicher Stärke wirken zu lassen; die Reizstärke ist aber, wie Versuche ergaben, von entschiedenem Einflusse auf die Grösse der physiologischen Zeit. Zweitens ist es auch nicht ganz wahrscheinlich, dass die Dauer der psychischen Acte von dem Orte, wo die Reizung ausgelöst wird, ganz unabhängig ist (Donders). Drittens hängt die physiologische Zeit immer von dem Grade der Aufmerksamkeit des Beobachters ab, die auch nicht immer ganz gleich gespannt werden kann.

Die Messungsmethoden, bei welchen es gelang, die psychischen Acte ganz auszuschliessen, haben also einen bedeutenden Vorzug.

Eine solche Methode ist von Helmholtz gegeben und von Baxt zu zahlreichen Messungen benutzt worden. Sie beruhte auf einer Messung der Fortleitungsgeschwindigkeit an einem motorischen Nerven des Menschen, die in derselben Weise wie beim Frosche ausgeführt wird.

Der N. medianus wurde für diese Versuche als am besten geeignet gefunden; die von ihm beherrschten Daumenmuskeln zeichneten ihre Anschwellungen während der Contraction bei den ersten Versuchen auf der rotirenden Trommel des alten Helmholtz'schen Myographions, bei den späteren auf dem Pendelmyographion.

Die Zeichenvorrichtung, die in späteren Versuchen verwendet wurde, ist auf Taf. L Fig. 4 abgebildet. Sie besteht aus einem ähnlichen Hebelwerke *a*, *a*, *a*, *a* mit Zeichenspitze *b*, wie bei dem Helmholtz'schen Froschmyographion. Die speciell

für die Versuche am Menschen getroffene Einrichtung besteht in dem längeren Holzstabe *g*, der durch ein Gelenk mit dem Fortsatze *e* der Drehaxe des Hebels verbunden ist. Bei den Versuchen wurde dieser Stab *g* nach unten gerichtet und auf die volare Fläche der Daumenmuskeln zwischen dem Daumen und Zeigefinger gestellt; das obere Ende des Stabes stemmte sich dabei von unten gegen den Fortsatz *e*. Beim schwellenden Muskel hob sich dieser Stab und senkte dabei die Zeichenspitze des Hebels nach abwärts.

Das auf dem Fortsatz *d* verschiebbare Gewicht diente als Gegengewicht für den Hebel. Die Schraube an der Säule, welche das Hebelwerk trägt, sowie der ihr gegenüberstehende, nach abwärts gerichtete Fortsatz der Drehaxe des Hebels diente dazu, die zu vergleichenden Zuckungscurven immer genau von gleicher Grundlinie ausgehen zu lassen und die Gleichmässigkeit des Muskeltonus vor der Zuckung zu constatiren.

Die dem Muskel nächste Stelle, an welcher der N. medianus gereizt wurde, war dicht über dem Handgelenk auf dem ulnaren Rand der Sehne des Flexor carpi radialis; die entferntere Stelle lag am Oberarm nahe dem Biceps brachii. Bei einer späteren Versuchsreihe wurde auch der N. ulnaris und die Mm. abductor indicis und adductor pollicis für diese Versuche benutzt.

Um von den Contractionen der anderen Muskeln nicht gestört zu werden, wurde der ganze Vorderarm in eine Gypsform eingelegt, die nur die Stellen, wo die Daumenmuskeln lagen und wo der N. medianus gereizt werden sollte, unbedeckt liess. Die Gypsform bestand aus drei Stücken, einem unteren, das den Ellenbogen, die Dorsalseite des Vorderarms und der Hand bis zu den Fingerphalangen umhüllte, und zwei oberen. Von diesen letzteren überdeckte das eine Stück die Hand bis zum Handgelenk und das zweite die Volarfläche des Vorderarms. Zwischen beiden blieb ein freier Zwischenraum von zwei Zoll Länge zum Anlegen der Elektroden an die nächste Stelle des Medianus. Das erstere Deckelstück der Gypsform besass über den Daumenmuskeln einen kleinen Ausschnitt, der nur diese Muskeln frei liess. Die Knochen der Handwurzel und das Köpfchen des Metacarpalknochens des Daumens waren von der Gypsform bedeckt.

Die Hand umfasste in der Supinationsstellung einen befestigten Holzcylinder. Der Arm wurde während des Versuchs auf ein horizontales Brett gelegt. Die feinen metallischen Elektroden wurden genau an den Arm befestigt und lagen der Haut nicht unmittelbar, sondern durch durchfeuchtete Kautschukhäutchen an.

Die allgemeine Versuchsanordnung bei den Messungen von Helmholtz und Baxt war ganz nach dem oben beschriebenen Vorbilde angelegt, welches Helmholtz für solche Messungen angegeben hat.

Die ersten Zuckungen zeigten, dass es bei Anwendung gleicher Reize für die beiden Nervenstellen unmöglich ist, ganz congruente Zuckungscurven zu erhalten. Es stellte sich nämlich heraus, dass das Maximum der Zuckung bei Reizung der entfernteren Stelle länger anhält, als bei Reizung der dem Muskel näheren Stelle. Eine Erscheinung, die dem Anschwellen der Erregung bei ihrem Fortschreiten im Nerven analog ist, welches Pflüger bei Fröschen beobachtete.

Da die Stärke der Reizung von Einfluss auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist, so musste der auf die entferntere Stelle applicirte Reiz so weit geschwächt werden, dass die von ihm ausgelöste Zuckung dieselbe Höhe erreicht, wie das

Maximum der Zuckung bei der Erregung der näheren Nervenstelle. Der Abstand der congruenten Curven wurde mit Hilfe des Ophthalmometers gemessen. Aber auch bei dieser Reizweise gelingt es nicht immer, ganz congruente Curven zu erhalten. Es musste daher aus längeren Versuchsreihen, die unter gleichen Umständen angestellt waren, eine Interpolationsformel von der Form

$$D = A + B\,\delta$$

berechnet werden. D bedeutet das Mittel der horizontalen Abstände eines einzelnen Curvenpaares, in verschiedenen Höhen von der Abscissenaxe gemessen, δ den Unterschied in den Höhen von h_0 und h_1 der beiden Zuckungen. A und B sind zwei empirische Constanten, die nach der Methode der kleinsten Quadrate aus sämmtlichen Curvenpaaren einer gleichen Versuchsreihe bestimmt wurden.

Die Constante A giebt den gesuchten mittleren Horizontalbestand der Curven.

Aus den Untersuchungen von Baxt ist noch die methodisch wichtige Thatsache hervorzuheben, dass die Jahreszeit, in welcher die Versuche angestellt werden, von dem grössten Einflusse auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im menschlichen Nerven ist. Die im Winter erhaltenen Werthe waren fast um das Doppelte niedriger, als die unter den sonst gleichen Verhältnissen im Sommer gewonnenen. Dass die Jahreszeiten nur insofern die Fortpflanzungsgeschwindigkeit beeinflussen, als der Nerv verschiedene Temperaturen hat, wurde bewiesen durch die Versuche mit künstlichen Erwärmungen und Abkühlungen des Armes.[1])

Durch Einführung dieser Messweise haben die früheren Methoden mit Reizungen verschiedener Hautstellen für die Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Nerven ihre Bedeutung verloren. Dagegen werden diese Methoden von Donders und de Jaager, von Place, Wundt, Exner u. A. noch mit Erfolg angewendet, um die Dauer der einfachen psychischen Processe zu messen. Es werden dabei nach einander dieselben Hautstellen gereizt, die Reaction wird aber erst angegeben, nachdem durch einen gewissen einfachen psychischen Process die Wahl zwischen mehreren Reactionen getroffen worden ist. Es wird z. B. die Haut auf einer der Körperhälften gereizt, das anzugebende Signal muss aber je nach der Körperstelle ein verschiedenes sein, oder es muss vor der Angabe des Signals noch eine einfache Rechnung ausgeführt werden, die auch nach der Reizstelle des Körpers variirt.

In ähnlicher Weise lässt man auch Reize auf andere Sinnesorgane, besonders auf das Seh- und Gehörorgan, einwirken und vergleicht die Zeiten, welche zwischen dem Reiz und dem Signal vergehen, wenn das eine Mal dasselbe sofort, das andere Mal erst nach einer mehr oder weniger complicirten Ueberlegung angegeben wird. Die noch in der Entwickelung begriffenen Messmethoden für diese Zwecke werden ausführlich im zweiten Bande dieses Werkes beschrieben.

§. XII. Methoden zur Beobachtung der Formveränderungen des Muskels.

Es ist im vorigen Paragraph bei Beschreibung des Helmholtz'schen Myographions vorläufig keine Rücksicht darauf genommen worden, inwiefern die von

1) Dieser früher den Beobachtern entgangene Einfluss der Jahreszeiten war auch der Grund der grossen Differenz, welche zwischen den Zahlenwerthen von Helmholtz und denen von Hirsch u. A. herrschte.

ihm gezeichneten Muskelcurven die wirkliche Formveränderung treu wiederzugeben im Stande sind. Für den dort behandelten Zweck, die Ermittelung des horizontalen Abstandes zweier aufeinanderfolgender Curven, kommen etwaige Mängel in der Wiedergabe der richtigen Formveränderung des Muskels auch weit weniger in Betracht.

Anders ist es aber, wenn die Curve zu dem Zweck aufgenommen wird, um den zeitlichen Verlauf der Muskelzuckung zu ermitteln. Hier muss geprüft werden, in wie weit die von der in Bewegung gesetzten Hebelvorrichtung gezeichnete Curve die wirklichen Veränderungen des Muskels wiedergiebt, in wie weit sie von den Eigenschwingungen der in Bewegung gesetzten Masse verzerrt wird.

Die hier zu entscheidende Frage ist der analog, welche schon im zweiten Capitel bei Gelegenheit der Besprechung der Vorrichtungen, um die Blutdruckschwankungen zu messen, ausführlich behandelt worden ist. Der Unterschied besteht nur darin, dass es dort um eine rhythmisch wiederkehrende Bewegung sich handelte, während man hier die Bewegungsvorgänge einzeln und in beliebigen Zeitintervallen verfolgen kann. Eine befriedigende Lösung der an graphische Apparate hier zu stellenden Aufgabe wird aber insofern erschwert, als man es hier mit einer momentan verlaufenden Bewegung zu thun hat, deren einzelne Phasen sich viel schwieriger zergliedern lassen.

Gemäss der in Cap. II § V geführten Auseinandersetzung sind die Bedingungen für die Erzeugung von Eigenschwingungen bei dem Helmholtz'schen Myographion sehr günstig; die Massen, welche in Bewegung gesetzt werden, sind sehr beträchtlich; die Widerstände aber, die zu überwinden sind, sehr gering.

Bei der im vorigen Paragraph gelieferten Beschreibung der ersten Helmholtz'schen Versuchsreihe mit Hilfe der Pouillet'schen Methode ist die höchst zweckmässige Art angegeben worden, in welcher der Muskel belastet worden ist. Zur Spannung (Belastung) des Muskels wurde nur ein kleines Gewicht verwendet, das den Muskel nur bis zur Herstellung des Contactes zwischen der Goldkuppe und dem Goldplättchen dehnte. Ausser dieser Belastung wurde aber noch ein grösseres Gewicht an den Muskel gehängt, das als Ueberlastung diente. Während des Ruhezustandes des Muskels konnte diese Ueberlastung keine dehnende Wirkung auf den Muskel ausüben; wurde aber der Muskel gereizt, so konnte er nicht eher seine Zuckung beginnen, als bis er einen zur Ueberwindung dieser Ueberlastung nöthige Energie erlangt hatte.

In dem Hebelwerke, das Helmholtz zur Aufzeichnung der Muskelcurve benutzte, geschah die Belastung theilweise in ähnlicher Weise. Gedehnt wurde der Muskel nur durch das Gewicht, welches auf die Schale *F* (Fig. 3 Taf. LI) gelegt wurde. Das Gewicht des Hebels *E E* wirkte während des Ruhezustandes des Muskels nicht dehnend, weil es durch das Gewicht *H* äquilibrirt wurde. Seine Zuckung konnte aber der Muskel erst beginnen, nachdem er eine genügende Spannung erlangt hatte, um die Trägheit des Hebelwerks zu überwinden. Ist dies geschehen, so setzt der Muskel eine Masse in Bewegung, deren Gewicht gleich ist dem des Hebelwerkes und dem der auf der Schale aufliegenden Belastung. Diese schwere Masse erhält durch die Zuckung einen Anstoss zur Bewegung, die sie mit der erlangten Geschwindigkeit dann weiter frei fortsetzt. Da die von dem Hebelwerke erlangte Geschwindigkeit grösser ist, als die, mit welcher sich der

Muskel zusammenzieht, so wird die Zeichenspitze viel schneller in die Höhe gehen, als das untere Muskelende. Der aufsteigende Theil der Curve wird daher einen viel steileren Verlauf anzeigen, als es der Muskelzuckung in der Wirklichkeit zukommt.

Nachdem das Hebelwerk aber schon den Gipfelpunkt seiner Bahn erlangt hat, setzt der Muskel seine Zusammenziehung fort und zieht das Hebelwerk nach sich, das jetzt also mit geringerer Geschwindigkeit seine Bewegung fortsezt. Die Curve wird dies durch eine Biegung anzeigen, deren Convexität nach oben gerichtet ist.

Auch im absteigenden Theile der Curve werden sich die beiden Einflüsse, die Rückkehr des Muskels zu seiner früheren Gestalt und der Fall des Hebels, in einer verwickelten Weise ausdrücken.

Die an der Bildung dieser Curve theilnehmenden Momente werden aber noch complicirter in Folge der Verbindungsweisen der Gewichtsschale und des Muskels mit dem Hebelwerke. Diese Verbindungen sind nämlich keine steifen, so dass jedes der drei Stücke, der Muskel, das Hebelwerk und das Gewicht, auf der Schale sich selbstständig und theilweise von einander unabhängig bewegen können. Die Curve wird also der Ausdruck der verwickelten Krafteinwirkungen von Seiten dieser dreier Theilstücke sein.

Die Schwankungen, welche Helmholtz in den ersten von diesem Myographion gelieferten Curven erhielt, waren auch, wie er übrigens selbst angiebt, nur durch die Eigenschwingungen des Apparates bedingt.

Bei den späteren Anwendungen des Helmholtz'schen Myographions sind gar keine oder nur wenige Veränderungen getroffen worden, um ihn von diesen Uebelständen zu befreien. Pflüger wendete ihn in der ursprünglichen Gestalt an, Bernstein und Fick verbesserten an ihm nur die Anlegeweise der Zeichenspitze an die berusste Fläche, indem sie, wie schon erwähnt, statt durch Gewichte, dieselbe durch Spannung einer Feder oder eines Kautschukbandes andrückten. Klünder erreichte dasselbe, indem er die frühere Zeichenspitze durch ein zugespitztes stählernes Plättchen ersetzte. Dies hat den geringen Nachtheil, dass die Spitze in Folge dessen einen Kreisabschnitt statt eines verticalen Striches schreibt. Die Reibung wird auch dabei kaum geringer sein, als wenn man der gewöhnlichen Zeichenspitze, nach Ludwig's Vorgang, durch einen Coconfaden, der ein Loth trägt, eine sichere Führung giebt.

Nur bei den Anwendungen, die das Myographion in dem Ludwig'schen Laboratorium von Sanders-Ezn, Kronecker und Tiegel erfahren hat, ist das Helmholtz'sche Hebelwerk bedeutend leichter gemacht worden. Statt des ganzen Rahmens wurde hier nur ein einziger Hebel von dem Muskel gehoben, an dem das Schälchen mit Gewicht aufgehängt ist. Auf Taf. LIII Fig. 1 ist ein solches Myographion abgebildet. Die metallische Zeichenspitze ist an diesem Myographion durch die von Boeck zuerst bei myographischen Versuchen angewendete Glasfeder ersetzt worden. Die ganz leichte Feder von der aus der Zeichnung sichtbaren Form wird durch einen Siegellacktropfen an dem Hebel befestigt. Sie ist federnd und liegt auch ohne besondere Führung der Zeichenfläche sehr gut an.

Aber auch in dieser vereinfachten Form zeichnet das Myographion noch keine ganz genauen Muskelcurven. Man überzeugt sich davon sehr leicht, wenn man

zwei solche Hebelwerke durch eine lose Verbindung, z. B. durch einen Muskel oder einen Gummifaden, mit einander verbindet und dem oberen Hebel durch einen Stoss von unten her eine gewisse Geschwindigkeit ertheilt. Die von den beiden Hebeln dabei gezeichneten Curven unterscheiden sich ganz bedeutend von einander.

Auch die directen Beobachtungen von Klünder beweisen, welchen wichtigen Antheil die eigene Geschwindigkeit des Zeichenhebels auf die Gestalt der Muskelcurve auszuüben vermag. Die Wurfcurve, welche dieser Hebel zeichnet, wenn er durch einen plötzlichen Stoss in Bewegung gesetzt wird, ist, ihrem Verlaufe nach, der Curve der Muskelzuckung ganz analog. [1])

Dem wirklichen Verlaufe der Muskelzuckung entsprechen schon viel genauer diejenigen Curven, bei welchen der Muskel bei seiner Contraction nicht eine schwere Masse in Bewegung setzt, sondern die Spannung einer Feder zu überwinden hat. Solche Myographien sind von Marey eingerichtet worden. Das Marey'sche Myographion ist auf Taf. LI Fig. 1 und 2 in zwei verschiedenen Gestalten abgebildet.

Ein leichter Hebel *E F* (Fig. 2) aus Schilf oder Holz mit einer feinen, gut federnden Spitze aus Aluminium oder Stahl ist in horizontaler Richtung um eine verticale Axe drehbar. Bei *F* besitzt dieser Hebel ein verschiebbares Stahlplättchen mit Knopf, der durch Vermittelung von Haken und eines Seiden- oder Drahtfadens mit der Sehne verbunden werden kann. Durch Nähern oder Entfernen des Plättchens *F* von dem Drehpunkt des Hebels kann man die Amplitude der Excursionen seiner Schreibspitze beliebig variiren.

Zur Spannung des Muskels dient bei dem auf Fig. 2 dargestellten Myographion ein Gewicht, das an einem an die Drehaxe des Hebels befestigten und über eine Rolle gehenden Faden *G G* aufgehängt ist. Diese Aufhängeweise des als Belastung dienenden Gewichts bedingt es, dass es nur ganz geringe Geschwindigkeiten bei der Zusammenziehung des Muskels erlangen kann. Die von dem in horizontaler Richtung sich bewegenden leichten Hebel erlangte Geschwindigkeit kommt gar nicht in Betracht.

Später ersetzte Marey dieses Gewicht durch die Spannung einer Feder, welche die im Sinne der Muskelzusammenziehung stattfindende Bewegung des Hebels hemmte, den Muskel also spannte. Diese Einrichtung ist in Fig. 1 wiedergegeben. Jeder der dort befindlichen Hebel trägt auf seiner Verlängerung über

---

1) Der schädliche Einfluss des schweren Hebelwerks tritt auch in sehr eclatanter Weise aus einigen Kronecker'schen Muskelcurven hervor. Auf Seite 215 seiner schönen Untersuchung über die Ermüdung und Erholung der Muskeln sind in Fig. 11, 12 und 13 drei Curvenreihen, die bei der gleichen Belastung von 20 gr. und periodisch wechselnden Zeitintervallen von 3, 12 und 6 Secunden gezeichnet wurden. Bei Fig. 11 war der Muskel sehr wenig, bei 12 mässig, bei 13 sehr ermüdet gewesen. In der ersten Curvenreihe sieht man nach jeder Zusammenziehung den Muskel sich unter die Abscissenlinie um mehrere Millimeter dehnen. Diese Dehnungen fallen bei den Curven der ermüdeten Muskeln weg. Wie Kronecker ganz richtig erklärt, hängt diese Dehnung in Fig. 11 davon ab, dass beim nicht ermüdeten erschlafften Muskel das ihn belastende Gewicht (sammt Hebel) frei von der Maximalhöhe der Contraction herunterfällt und so den Muskel dehnt. Der ermüdete, viel starrere Muskel dehnt sich dagegen sehr langsam aus; das Gewicht kann nicht frei fallen, sondern folgt dem Muskel nach, es erlangt nicht mehr die Kraft, um ihn zu dehnen.

die Drehaxe hinauf eine feine Stahlfeder, deren Kanten vertical gerichtet sind. Die breiten Flächen dieser Federn werden durch die auf der Zeichnung sichtbaren Excentriks mit geringerer oder grösserer Kraft gespannt, je nachdem man diese Excentriks in dem Schlitz des Myographionbrettes von der Drehaxe entfernt oder derselben nähert. Auch können diese Excentriks selbst um eine Drehaxe bewegt werden, wobei sie in grösserer oder geringerer Ausdehnung mit der breiten Fläche der Stahlfedern in Berührung kommen.

Bei der geringen Stärke der von Marey verwendeten Federn und bei ihrer beschriebenen Wirkungsweise kann deren Einführung statt des über eine Rolle gehenden Gewichtes nicht als ein Fortschritt betrachtet werden. Die Veränderungen der Spannung dieser Feder während der Muskelzusammenziehung, die Aenderungen seiner Belastung gleichbedeutend sind, können die Muskelcurven mehr verunstalten, als die geringe eigne Geschwindigkeit, welche das über die Rolle gehende Gewicht zu erlangen vermag. Marey begnügte sich bei der Prüfung dieses Myographions damit, dass er den Mangel an Eigenschwingungen an ihm constatirte. Dies ist aber in Anbetracht der eben hervorgehobenen Fehlerquellen nicht ausreichend.

Von den zweckmässigeren Einrichtungen des Marey'schen Myographions sind noch einige hervorzuheben. Durch die Drehung des Fortsatzes *D* (Fig. 2) kann das Grundbrett *B*, auf welchem der Hebel ruht, momentan gehoben oder gesenkt werden, also auch der Schreibhebel an die Zeichenfläche angelegt resp. von ihr abgehoben werden. Zu feineren Einstellungen der federnden Zeichenspitze, also zur Regulirung ihrer Reibung, dient die Schraube *C*.

Das Myographion kann für ausgeschnittene oder für mit dem übrigen Körper noch zusammenhängende Muskeln verwendet werden. Im ersteren Falle wird das mit dem oberen Ansatze des Muskels in Zusammenhang stehende Knochenstück ganz in derselben Weise wie beim Helmholtz'schen Myographion mit einer gezahnten Klemmpincette befestigt. (Man kann auch durch eine starke Stahlnadel diesen Knochen an dem mit dem Myographion verbundenen Korkbrett fixiren.)

Für den mit dem Körper in Zusammenhang stehenden Gastrocnemius braucht man nur die Achillessehne blosszulegen, von den umgebenden Theilen zu trennen und auf die aus der Fig. 2 verständliche Weise mit dem Schreibhebel zu verknüpfen. Um dabei von den Bewegungen des Thieres nicht belästigt zu werden, fixirt man den Körper und die übrigen Schenkel durch Drähte oder Kautschukringe (Cap. I) oder zerstört, wenn die sonstigen Versuchsbedingungen es gestatten, dem Thiere das Rückenmark.

Zur Vergleichung der unter gewissen Umständen von beiden Gastrocnemii gelieferten Curven benutzt man zwei Schreibhebel, wie sie auf Fig. 1 dargestellt sind.

Dieselbe Figur zeigt auch eine sehr zweckmässige von Marey getroffene Schlitteneinrichtung, um das Myographion vor der rotirenden Trommel mit gewünschter Geschwindigkeit vorbeifahren zu lassen. Für die häufigen Fälle, wo Vergleiche zwischen einer Reihe von Muskelcurven gemacht werden sollen, ist diese Schlittenvorrichtung von grossem Nutzen.

Ein Uhrwerk setzt eine mit Schraubenwindungen versehene Welle (Fig. 1) in Bewegung. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung lässt sich in sehr weiten

Grenzen durch die Windfangflügel reguliren, deren gegenseitige Einstellung durch ein Zahnräderwerk geschieht. Die Stehlager für diese Welle sind an den beiden Enden einer langen Schlitteneinrichtung aus Gusseisen befestigt, die durch Stellschrauben wagerecht eingestellt wird.

Die Eisenplatte, welche das Stativ des Myographions trägt, bewegt sich mit drei Rädern an den Schienen dieses Schlittens. Eine Schraubenmutter, welche die untere Fläche dieser Platte gerade in ihrer Mitte besitzt, umgreift die Welle in der Weise, dass die Platte bei der Drehung der Welle durch deren Schraubengewinde in Bewegung gesetzt wird. Eine Hakenvorrichtung gestattet, die Platte momentan von dem Gang der Welle unabhängig zu machen. Das Fortgleiten des Myographions geschieht so sanft, dass auch nicht die leichteste Erschütterung der Schreibfeder dabei stattfindet.[1])

Mit Hilfe dieser Schlittenvorrichtung lassen sich die Muskelcurven in beliebiger Reihenfolge über- und nebeneinander aufzeichnen. So erhält man die Marey'sche imbrication verticale, wobei die Muskelcurven gerade übereinander geschrieben sind, was sehr nützlich ist, wenn man die Dauer der Zuckungen vergleichen will, und die imbrication latérale, wo sie nebeneinander geschrieben werden, um ihre Höhen zu vergleichen. Bei dieser letzteren Einrichtung ist das Myographion von der Bewegung der Welle unabhängig gemacht worden.

Bei der imbrication oblique werden die Zuckungen zwar auch nebeneinander, aber nicht auf derselben Abscisse, sondern auf einer spiraligen Abscisse, die sich um die rotirende Trommel aufwindet, geschrieben.

Um die Curven bei diesen Aufzeichnungsweisen in gewissen Abständen von einander aufschreiben zu lassen, benutzt Marey zur Ertheilung der Reize an den Nerven seinen im § II beschriebenen Unterbrecher, der durch die rotirende Trommel selbst mit grösserer oder kleinerer Geschwindigkeit in Drehung versetzt wurde. Bei verschiedenen Verbindungsweisen der Trommel mit dem Unterbrecher wurden auf diese Weise dem Nerv Reize in beliebigen Intervallen zugeführt.

Streng genommen entsprechen auch die mit dem Marey'schen Myographion gezeichneten Muskelcurven nicht genau dem wirklichen Verlauf der Muskelzuckung. Um diesen zu erhalten, musste man den Muskel in einer Weise mit dem Schreibhebel verbinden, dass die Verbindungsstücke auch nicht die geringste Knickung oder Verschiebung zwischen diesen beiden Stücken gestatteten; die steife Verbindung musste also nicht einmal durch die Sehne, welche noch Faltenbildungen zulässt, sondern direct mit dem Muskel geschehen. Damit aber das bewegliche Muskelende nicht durch die straffe Verbindungsweise gezwungen wäre, die Eigenschwingungen der Schreibhebel mitzumachen, durfte dieser letztere gar keine Eigenschwingungen geben.

Eine Bedingung, der es schwer fällt Genüge zu leisten, in Anbetracht der Nothwendigkeit, die Muskelcontraction bei einem gewissen Spannungsgrad beginnen zu lassen. Mit einer Sprungfeder würde dies noch leichter erfüllt werden können.

1) Ich benutze seit Jahren die beschriebenen Myographionvorrichtungen von Marey, die aus den vorzüglichen Werkstätten von Breguet hervorgegangen sind, und bin mit deren Leistungen immer zufrieden gewesen.

Die Spannungsänderungen, welche eine solche spiralige Feder erleidet, sind in den von der Muskelcontraction erzeugten Dehnungsgrenzen gleich Null.

Als Schreibfeder sind die Boeck'schen Glasfedern oder die Marey'schen feinen Stahlfedern sehr gut verwendbar.

Die Muskelcurven, die mit Hilfe eines solchen vollkommenen Myographions gezeichnet worden wären, würden sehr genau den zeitlichen Ablauf der Contraction eines gleichmässig belasteten Muskels geben. Die erhaltene Curve würde aber noch immer nur unvollkommen die Gestalt wiedergeben, welche der Zuckung des mit den Knochen in Verbindung stehenden Muskels zukommt. In der Angriffsweise des Muskels an den Knochen sind für seine mechanische Leistungsfähigkeit günstige Bedingungen gegeben, die es ihm gestatten, nur während eines kurzen Stadiums seiner Zusammenziehung an der ganzen Belastung arbeiten zu müssen. Mit der Zunahme der Contraction nimmt die Energie, welche der Muskel zu entwickeln hat, beträchtlich ab, indem er sich allmählich selbst entlastet. Solche vollkommene Bedingungen der Contraction lassen sich am ausgeschnittenen Muskel nur in ungenügender Weise nachahmen.

Noch schwieriger sind die normalen Bedingungen für den absteigenden Theil der Muskelcurve herzustellen; das spannende Gewicht oder die spannende Feder verzerrt beträchtlich den Verlauf der Erschlaffung im Muskel.

Von grossem Einfluss auf die Form der Contraction ist der Spannungsgrad, welchen der Muskel erreicht, ehe er die Verkürzung beginnt. Nicht nur die Dauer der latenten Reizung, sondern auch die Steilheit des aufsteigenden Theils der Curve und die Höhe, welche der Muskel bei seiner Zuckung erreicht, hängen von den ursprünglichen Widerständen ab, welche dem erregten Muskel beim Beginn seiner Zusammenziehung sich entgegensetzen.

Es ist schon mehrmals erwähnt worden, dass Helmholtz, um die Contraction des Muskels nicht bei zu starker Dehnung durch die an ihn angehängten Gewichte, aber bei einem bestimmten Spannungsgrade beginnen zu lassen, die Gewichte in zwei Theile theilte.

Nur ein kleiner Theil des Gewichts konnte den Muskel dehnen und wurde als directe Belastung des Muskels benutzt; der grössere Theil, der als Ueberlastung diente, war während der Ruhe des Muskels verhindert, dehnend auf ihn zu wirken; er verhinderte aber den Muskel, sich zu contrahiren, ehe seine Energie nicht die zur Ueberwindung dieser Ueberlastung nöthige Höhe erreicht hatte. Helmholtz benutzte, wie oben angedeutet, diese Ueberlastung dazu, um den Zeitpunkt zu bestimmen, in welchem nach der Reizung im Muskel die Energie die Schwere des gebrauchten Gewichts übersteigen kann. Da bei diesen Bestimmungen nicht die graphische, sondern die Pouillet'sche zeitmessende Methode zur Verwendung kam, war die vorherige hohe Spannung des Muskels nur nützlich. Anders verhält es sich rücksichtlich einer solchen vorherigen Spannung bei dem graphischen Studium des zeitlichen Ablaufs der Muskelcurve. Hier schnellt der vorher gespannte Muskel im Moment, wo seine Energie den Widerstand überwindet, mit ungeheurer anfänglicher Geschwindigkeit in die Höhe. Die träge Masse, welche an ihn befestigt ist, erhält in Folge dessen eine Geschwindigkeit, bei der sie weit über die Höhe hinausgeht, welche dem Muskel sonst bei seiner maximalen Contraction zugekommen wäre. Je grösser die träge Masse ist, die zur Spannung

des Muskels benutzt wurde, um so mehr wird die von ihr aufgezeichnete Curve von der wirklichen Zuckungscurve abweichen. Der gespannte Muskel schleudert das Gewicht gleichsam wie ein gespannter Bogen den Pfeil; die von dem letzteren durchlaufene Bahn steht aber in keiner Beziehung zu der Excursion des freigegebenen Bogens.

Im nächsten Paragraph wird noch auf die aus dieser Spannung entstehenden Fehler bei Beurtheilung der Abhängigkeit der Muskelarbeit von der Belastung zurückgekommen. Hier sei vorläufig ein sehr belehrender Versuch von Fick erwähnt, der am anschaulichsten den Einfluss, welchen die erlangte Spannung des Muskels auf die Höhe der Contraction auszuüben vermag, erläutert. Das vom Muskel zu hebende Gewicht, z. B. der gewöhnliche Zeichenhebel von Helmholtz, wird mit einem Stück weichen Eisens verbunden, das in einer Weise über einem Elektromagnet aufgestellt wird, um von demselben stark angezogen werden zu können, wenn der Magnet von einem Strome umkreist wird.

Man lässt den Muskel bei maximaler Reizung das Gewicht zuerst bei offenem Kreise (also indem der Elektromagnet wirkungslos ist) in die Höhe heben und die Zuckungscurve aufzeichnen. Sodann schliesst man den Strom und reizt den Muskel mit derselben Stärke von Neuem. Da der Muskel das jetzt vom Elektromagnet festgehaltene Gewicht nicht loszureissen im Stande ist, so erlangt er durch das Bestreben, sich zu verkürzen, eine sehr hohe Spannung. Wird jetzt der Strom geöffnet, so schnellt der Muskel mit dem Gewicht viel steiler und plötzlicher in die Höhe. Die jetzt gezeichnete Curve ist sowohl der Form als der Höhe nach von den früheren ganz verschieden.

Es braucht wohl nicht erst hervorgehoben zu werden, dass, ausser von der vorherigen Drehung und Spannung des Muskels, die Form der Muskelzuckung noch abhängig ist von der Stärke und der Häufigkeit der dem Muskel ertheilten Reize, von seinem Ermüdungszustande und der Möglichkeit, die ihm zur Erholung durch den Blutstrom etc. gegeben worden ist u. s. w.[1])

Unter welchen Bedingungen die Muskelcurven auch aufgezeichnet werden, jedenfalls ist es für die Analyse ihres Verlaufs vortheilhafter, sie durch ein geradliniges Coordinatensystem ausdrücken zu lassen. Das Aufzeichnen der Curven auf rotirenden Scheiben, auf pendelartig sich bewegenden Zeichenflächen u. s. w. leistet für die Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit ganz gute Dienste, es verwickelt aber das auch sonst ziemlich schwierig zu entwirrende Bild der Muskelcurve und macht Curven verschiedener Beobachter schwer vergleichbar.

Man lässt daher am zweckmässigsten die Muskelcurven auf Cylinder, die um verticale oder horizontale Axen sich drehen, oder auf Flächen, die sich, wie bei dem du Bois'schen Federmyographion, in gerader Linie bewegen.

Die zum Studium des zeitlichen Verlaufs der Zuckung am häufigsten bevorzugten Muskeln sind der Hyoglossus (E. Weber, Volkmann), die Gruppe der Adductoren mit dem Semimembranosus (Wundt, Heidenhain), der Triceps

1) In den Untersuchungen von Kronecker, Tiegel u. A. findet man eine ausführliche Analyse dieser Abhängigkeiten. (Siehe nächsten §.)

2) Die Idee von Hensen und Klünder, die Muskelcurven auf einer Platte zeichnen zu lassen, die an der Zinke einer Stimmgabel befestigt war, ist zwar sehr sinnreich; die Schwierigkeit der Analyse ihrer so erhaltenen Curven ist aber immerhin eine störende Complication.

femoris (Kronecker) und der Gastrocnemius. Der letztere Muskel lässt sich am leichtesten zu myographischen Versuchen herrichten; es genügt dazu, durch einen kleinen Hautschnitt in der Gegend des Fussgelenkes die Achillessehne blosszulegen, sie von ihrem Ansatze zu trennen und auf einen Haken zu nehmen. Bei vorsichtiger Präparation geschieht dies, ohne die geringste Blutung zu verursachen. Eine kleine Vene, welche etwas oberhalb der Achillessehne zu dem Gastrocnemius tritt, kann bei der Isolation der Sehne umgangen werden. Soll der Gastrocnemius höher nach oben zu isolirt werden, so muss man sie unterbinden.

Um die Tricepsgruppe mit dem Schreibhebel des Myographions zu verbinden, genügt es nach Kronecker, die Haut auf der Streckseite des Knies durch einen Längsschnitt zu trennen und die Sehne von der Tibia und Nachbarsehne zu isoliren.

Welcher dieser Muskeln auch zu myographischen Versuchen verwendet wird, so ist es vollkommen überflüssig, den Muskel seiner ganzen Länge nach von den benachbarten Muskeln zu trennen. Die Isolirung der Sehne genügt vollständig, um den Muskel bei Reizung sich isolirt contrahiren zu lassen, wie er es ja übrigens im lebenden Thiere nie anders thut.

Um von grösseren Thieren myographische Aufzeichnungen zu erhalten, bedient man sich eines leichten Hebelwerkes, das die Verdickung des Muskels in passender Weise auf eine Schreibvorrichtung überträgt. Oben ist schon die von Helmholtz und Baxt zur Aufzeichnung der Anschwellung der Daumenmuskeln benutzte Vorrichtung beschrieben. Dieser ähnlich ist die von Place bei seinen Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit an den motorischen Nerven des Menschen gebrauchte Schreibvorrichtung.

Auf Taf. LII zeigt Fig. 6 eine von Marey getroffene Einrichtung, die die Anschwellung einer grossen Anzahl von Muskeln aufzeichnen kann, und zwar sowohl beim Menschen, als bei Kaninchen, Hunden u. s. w. Auf dem Stativ *A* ist der Arm *B* verschiebbar, der bei *H* eine flache Platte zum Anlegen an den Muskel trägt. Dieser Platte gegenüber steht auf einer Feder *E* von regulirbarem Drucke eine zweite Platte *K*, die durch eine Schraube auf die Aluminiumplatte der Lufttrommel *C* drückt. Durch die Röhre *L* ist diese Trommel mit dem Tambour-enregistreur verbunden. *F* und *G* sind zwei Drähte, die durch Elfenbeineinsätze isolirt den Platten *H* und *K* den Strom zuführen können. Zwischen den beiden Platten dieser pince myographique wird der Muskel, dessen Anschwellung verzeichnet werden soll, eingeklemmt.

Während dieses Myographion nur die Dickenzunahme des Muskels wiederzugeben im Stande ist, gestattet das auf Taf. LI Fig. 4 abgebildete, von mir construirte Myographion, die Längenabnahme des Muskels aufzuzeichnen. Es ist zwar nur für den Adductor pollicis eingerichtet; es wäre aber eine Leichtigkeit, es auch für einige andere Muskeln anzupassen.

Ein leichter Hebel ist bei *f* in einem Spitzengelenk drehbar; durch zwei andere durch Gelenke unter spitzen Winkeln verbundene Hebel *F'* und *F* ist dieser Hebel mit einer stärkeren Sprungfeder *D* aus Messing verbunden, die unten in die Rinne *E* zur Aufnahme des Daumens ausläuft. Oben ist die Sprungfeder durch den Fortsatz *B* fixirt, und zwar in einer Weise, dass man nach Belieben entweder durch Verschieben der Hülse *C* auf dem Stab *A* die Spannung der Feder selbst ändern kann, oder durch Drehung einer runden Scheibe, die von *B* getragen wird und

die in die Ringe der Feder eingreift, einen grösseren oder kleineren Abschnitt der Sprungfeder an der Traction Theil nehmen lässt. An das andere Ende des Schreibhebels wird eine feine Federspitze aus Aluminium oder Stahl, oder eine Boeck'sche Glasfeder durch einen Siegellacktropfen angeklebt, die die Curven aufzeichnet.

Auch bei der Anwendung dieses Myographions muss auf die von Helmholtz angegebene Weise der Oberarm sammt der übrigen Hand durch eine passende Gypsform unbeweglich gemacht werden.

Für Versuche über die Summation der Zuckungen verwendet man Stromunterbrecher, die es gestatten, in verschiedenen Intervallen dem Muskel oder seinem Nerv Reize zuzuführen.

Die erforderlichen Intervalle müssen zwischen 2—4 Schlägen bis zu einigen Hundert in der Secunde variirt werden können. Mit einem Metronom oder Pendelunterbrecher für die Intervalle bis zu $^1/_4$ Secunde, mit dem Halske'schen Hammer für Intervalle von $^1/_4$ bis $^1/_{30}$ Secunden, mit schwingenden Stäben für $^1/_{10}$ bis $^1/_{200}$, und mit schwingenden Stimmgabeln für noch kürzere Intervalle kann man sämmtliche Versuche über die Summation der Zuckungen ausführen. Einige Schwierigkeiten bietet es nur, wenn es darauf ankommt, die Superposition der Muskelzuckungen bei zwei im Intervall von $^1/_{300}$ bis $^1/_{600}$ Secunde nach einander folgenden Maximalreizen zu zeigen. Helmholtz erreichte dies in der Weise, dass er an der rotirenden Trommel seines Myographions zwei Daumen, deren Entfernung variirt werden konnte, anbrachte, welche auf ihrer Bahn zwei Contacthebel umwarfen. Auf diese Weise gelang es, den zweiten Reiz dem Muskel zu ertheilen, während er im Latenzstadium oder in irgend einer anderen beliebigen Phase der Zuckung sich befand.

Mit Hilfe des Bernstein'schen Rheotoms könnte man auf eine ähnliche Weise dasselbe erzielen.

Für die meisten Versuche mit der Summation der Reize eignet sich auch sehr gut ein nach Gestalt des Poggendorff'schen Inversors gestalteter Radunterbrecher. Bei verschiedener Drehungsgeschwindigkeit kann man sehr leicht verschiedene Combinationen der Summation von Zuckungen bis zum vollständigen Tetanus erzielen. Mit dem Marey'schen Myographion lassen sich auf diese Weise noch bis zwanzig Zuckungen in der Secunde durch kleine Wellen an der Maximalhöhe der Curve sichtbar machen.

Von den hier einschlagenden Versuchen ist besonders lehrreich der auf das Entstehen des Tetanus im ermüdeten Muskel bei viel geringerer Unterbrechungszahl der Reize als beim frischen Muskel sich beziehende. Einem Muskel werden 10—15 Inductionsschläge in der Secunde längere Zeit ertheilt, während er seine Zuckungen auf einer schnell rotirenden Trommel verzeichnet. Im Beginn kann man die einzelnen sehr häufigen Zuckungen noch sehr gut von einander unterscheiden. Erst wenn der Muskel durch die längere Reizung schon stark ermüdet ist, verfällt er bei derselben Unterbrechungszahl der Reize in ununterbrochenen Tetanus. Dies rührt bekanntlich daher, dass die Rückkehr des ermüdeten Muskels zu seiner Ruhelage wegen der Veränderung seiner Dehnbarkeit viel langsamer geschieht. Die nachfolgenden Reize erhalten ihn daher auf constanter Höhe, auch wenn ihre Reihenfolge nicht besonders häufig ist (Marey, Kronecker.)

Auf mechanischem Wege erzeugt man Tetanus am leichtesten mit Hilfe des im vorigen Paragraphen beschriebenen Heidenhain'schen Tetanomotors. Hat man keinen solchen zur Verfügung, so verwendet man zum Tetanisiren nach Marey's Vorgange eine schwingende Stimmgabel, durch deren eine Zinke man dem Nerven leise Stöse ertheilt. Man legt dabei den Nerv auf eine elastische Unterlage, z. B. auf eine gespannte Membran, um ihn durch die einzelnen Schläge nicht zu sehr zu misshandeln.

Chemischen Tetanus erzeugt man noch am leichtesten, wenn man den mit dem Muskel verbundenen Nerv in eine concentrirte Kochsalzlösung taucht. Directe Reizung des Muskels durch die speciellen Muskelreize (Ammoniakdämpfe u. s. w.) erzeugt einzelne Zuckungen, die sich oft summiren, aber nur höchst selten bis zu einem wahren Tetanus sich steigern.

Die Erzeugungsweisen des Tetanus durch plötzliche Erwärmung, durch Vergiftungen mit Strychnin u. s. w. bieten in der Ausführung keine Schwierigkeiten und bedürfen keiner besonderen Auseinandersetzung.

Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contractionswelle im Muskel sind zuerst von Aeby mit Hilfe exacter Methoden gemacht worden. Mit Hilfe der graphischen Methode bestimmte er die Zeit, welche zwischen dem Erscheinen einer Contractionswelle an einem der Reizstelle näher gelegenen und einem von ihr entfernteren Punkte des Muskels verfliesst.

Eine eigenthümliche Art der Fixirung des Muskels gestattete ihm bei seiner Dickenzunahme, sich nur nach einer Seite hin auszubreiten. Waren zwei bewegliche Hebel auf der Seite des Muskels aufgelegt, nach welcher zu seine Anschwellung möglich war, so mussten sie von demselben gehoben werden. Wenn der Muskel nicht auf allen Entfernungen von der Applicationsstelle des Reizes zu gleicher Zeit sich verdickt, so musste zwischen dem Anfange der beiden Hebelbewegungen eine messbare Zeit verstreichen. Liess man diese Hebel ihre Bewegungen auf einem schnell rotirenden Cylinder aufzeichnen, so konnte man durch den Abstand der gezeichneten Curven direct diesen Zeitunterschied messen.

Die von Aeby benutzten Hebel übertrugen ihre Bewegungen auf zwei etwas modificirte Schreibvorrichtungen des Helmholtz'schen Myographions. Die Curven wurden auf der schnell rotirenden berussten Trommel gezeichnet und in bekannter Weise ausgemessen. Da die beiden Zeichenspitzen schon vor der Zuckung in einem gewissen Abstande von einander der Trommel anlagen, so musste selbstverständlich von dem horizontalen Abstande der beiden Curven noch dieser Spitzenabstand abgezogen werden.

Der verwendete Muskel war der Adductor magnus (Cuvier), den Ecker als Rectus internus major und du Bois-Reymond als Gracilis bezeichnet. Die Wahl dieses Muskels ist keine besonders günstige, da die Fasern desselben durch eine Sehnennaht in ihrem Verlaufe vollständig unterbrochen werden. Man muss in Folge dessen die beiden Muskelpunkte, deren Anschwellungen aufgezeichnet werden sollen, jenseits der Nath wählen. Dasselbe gilt auch vom Reize, wenn derselbe auf eine circumscripte Stelle des Muskels applicirt wird. Besser eignet sich daher zu diesen Versuchen der von Hermann gewählte Sartorius.

Die elektrischen Reize, einzelne Inductionsstösse, werden je nach dem Versuchszweck an einer Stelle des Muskels durch zwei den Muskel in der Quere

umfassende Drahtelektroden, oder, wenn derselbe seiner ganzen Länge nach noch durchflossen werden soll, an den beiden Sehnenenden applicirt. Durch zwei über Rollen gehende Gewichtchen von je 2 bis 3 Gramm wird der Muskel mässig gespannt. Um vor der Verbreitung des Reizes durch die intramuscularen Nerven gesichert zu sein, vergiftete Aeby den Muskel mit Curare. Dies ist aber, wie die Versuchsergebnisse gezeigt haben, insofern entbehrlich, als bei den schwachen Reizen, mit welchen man hier, wegen möglichster Vermeidung wirksamer Stromesschleifen, operiren muss, nur die nächst gelegenen Nervenfäserchen vom Reize getroffen werden (Hermann).

Die Ausmessung der Entfernungen zwischen den Muskelstellen, an welchen die Hebelchen und die stromzuführenden Elektroden anliegen, ist die misslichste Aufgabe bei diesen Versuchen. Genau kann dies wegen der unvermeidlichen Verschiebungen bei der Contraction nicht geschehen. Der daraus entspringende Fehler wird jedenfalls grösser sein, als der bei der Ausmessung der nicht immer congruenten Curven möglicherweise entstehende. Darum kann in diesem Falle die zwar genauere, aber viel umständlichere Pouillet'sche Zeitmessungsmethode kaum genauere Resultate als die graphische liefern.

Weniger genau ist die von Engelmann benutzte Untersuchungsmethode der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contractionswelle. Die Engelmann'schen Versuche sollten die von Bezold behauptete und von Aeby bestrittene Erregung des Muskels am negativen Pol prüfen. Der senkrecht aufgehängte Muskel wurde in der Mitte in einer Weise festgeklemmt, dass die Erregung von dem oberen Abschnitt des Muskels sich noch zu den unteren begeben konnte. Die Contractionen des oberen Theiles konnten über die festgeklemmte Stelle hinaus nicht auf den, mit dem unteren Ende des Muskels verknüpften Hebel übertragen werden. War der Muskel an seinen beiden Enden mit zwei Elektroden eines reizenden Stromes verbunden, so trat die Bewegung des Hebels später ein, wenn der negative Pol sich am oberen, als wenn er sich am unteren Ende befand. Aus der Zeit, welche in diesem Falle die Erregung brauchte, um zur festgeklemmten Stelle zu gelangen, berechnete Engelmann die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contractionswelle.

Während Aeby den Muskel an ein und derselben Stelle reizte und die Länge der latenten Reizungen oder die Abstände zweier Curvenanfänge mass, haben Bernstein und Hermann zu demselben Zweck den Zeitunterschied gemessen, welcher bei der Reizung zweier Punkte des Muskels bis zum Erscheinen der Contractionswelle vergeht.

Wie Hermann mit Recht hervorhebt, werden bei diesen beiden Messungsmethoden im Grunde zwei verschiedene Grössen bestimmt: Aeby misst die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contractionswelle, Bernstein und Hermann die der Reizwelle. Die Wahrscheinlichkeit, dass beide Geschwindigkeiten identisch seien, ist zwar gross, aber doch nicht dringend genug, um sie ohne directe Beweise zu einer Gewissheit umzuwandeln. Die grossen Differenzen, welche zwischen den Ergebnissen der Messungen Aeby's und denen Bernstein's und Hermann's bestehen, könnten zu Ungunsten der gleichen Geschwindigkeit gedeutet werden. Dies um so mehr, als die von diesen Autoren übersehenen Bestimmungen von Marey, mit Hilfe eines viel vollkommeneren Hebelwerks als das von Aeby be-

nutzte, fast genau denselben Werth (1 Meter in der Secunde) für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contractionswelle ergeben haben.

Die von Marey benutzte Einrichtung, welche sich auch für Demonstrationen sehr gut eignet, ist Taf. LII Fig. 5 dargestellt. Sie besteht aus einer Art Mulde *c d*, in welche der Muskel (nach Hermann am geeignetsten die beiden Sartorii) auf die aus der Zeichnung verständliche Weise eingelegt wird. Die beiden leichten Hebelchen *a* und *b*, aus Holz und mit Stahlfedern versehen, werden in beliebiger Entfernung von ihrem Drehpunkte auf zwei Stellen des Muskels gelegt. Die Zeichenspitzen der beiden Hebel sind so gebogen, dass sie auf der senkrechten Trommel gerade übereinander zu liegen kommen. Der Muskel wird an seinen beiden Enden durch kleine Gewichte gespannt und an einer gewünschten Stelle gereizt. Die Curven der beiden Hebel werden über einander gezeichnet und ihre etwaigen Abstände leicht abgelesen. Aus diesem Abstande wird bei bekannter Entfernung der beiden Applicationsstellen der Hebel die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contractionswellen berechnet.

Die Fortleitungsgeschwindigkeit der Reizwelle bestimmte Bernstein mit Hilfe der graphischen, Hermann mit Hilfe der Pouillet'schen Methode. Die von Bernstein benutzte Vorrichtung hat den Vortheil grosser Einfachheit. Ein Drahtbügel, der den horizontal gelagerten Muskel in der Quere sanft umgreift, läuft unten in einen Haken aus, an dem eine leichte Rolle aus Hartgummi aufgehängt ist. Ueber diese Rolle geht ein Faden, dessen ein Ende an einem Kork unbeweglich fixirt ist, dessen anderes Ende ein kleines Gewichtchen trägt und an einem ganz leichten federnden Hebel aus Stahl zieht. Der Drehpunkt dieses Hebels, dessen freies Ende auf einer berussten Fläche zeichnet, liegt in seiner Befestigungsstelle in einem Kork. Auch hier kann der Angriffspunkt des Hebels seinem Drehpunkte näher oder ferner gerückt werden. Bei der Verdickung des Muskels zieht der sich emporhebende Bügel an diesen Hebel. Die eingeschaltete Rolle aus Hartgummi diente dazu, um die Hubhöhe zu verdoppeln. Die Elektroden waren an zwei Punkten des Muskels angelegt, dem einen neben dem Bügel und dem anderen am entgegengesetzten Ende. Sie waren an die Glasplatte, auf die der Muskel aufgelegt war, angekittet und lose um denselben gewickelt.

Hermann zog es vor, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizwelle mit Hilfe der genaueren Pouillet'schen Zeitmessungsmethode (s. o.) zu prüfen, hauptsächlich, um den Ungenauigkeiten in der Ausmessung der Curven zu entgehen.

Die Lagerung des Muskels wurde ähnlich wie bei Aeby gewählt. Die Reizelektroden bestanden aus Platindrähten, die den Muskel gut umgreifen, ohne ihn zu drücken. Zu den Messungen wurde eine etwas modificirte Einrichtung des Froschunterbrechers von du Bois-Reymond (s. o.) verwendet. Die Modification hatte hauptsächlich zum Zweck, die Umwerfung des Hebels, der den Contact löst, durch die Anschwellung einer bestimmten Stelle des horizontal gelagerten Muskels zu ermöglichen.

Der zeitmessende Strom wurde durch ein kleines Daniell'sches Element geliefert, in dessen Kreis ein Widerstand von 500 S. E. eingeschaltet wurde, um die Schwankungen des Widerstandes an den Contactstellen des Unterbrechers unschädlich zu machen. Die Wiedemann'sche Bussole wurde bei entfernter Kupferhülse und geringer Astasie benutzt.

Als Reiz dienten Schliessungsschläge eines Inductionsapparates, die durch Wegräumung einer Nebenschliessung zu dessen Hauptrolle ausgelöst wurden.

Die Methoden zur Prüfung der elastischen Eigenschaften des ruhigen und thätigen Muskels sind im Allgemeinen den gleichen Methoden der Physiker nachgeahmt. Ihre Anwendung ist aber beim Muskel wegen der eigenthümlichen Veränderungen, die er bei seiner Thätigkeit erleidet, mit grossen Schwierigkeiten verbunden.

Eine der anerkanntesten Schwierigkeiten bei der Ermittelung der Elasticität des thätigen Muskels liegt darin, dass die während der Messung eintretende Ermüdung des Muskels die erhaltenen Werthe nicht ohne Weiteres unter einander vergleichbar macht. Dies einer der Gründe, warum trotz der sorgfältigen und zahlreichen Untersuchungen von E. Weber, Volkmann, Wundt u. A. die elastischen Eigenschaften des sich zusammenziehenden Muskels noch Gegenstand vieler Controversen sind.

Leichter lassen sich die elastischen Eigenschaften des ruhenden Muskels bestimmen. Man ermittelt dabei möglichst genau die Längen, um welche bei verschieden grossen Belastungen der ruhende Muskel sich dehnt, und die, um welche er sich nach der Entlastung wieder verkürzt. Die Genauigkeit der Ermittelungen wird zuerst bedingt durch die Genauigkeit der Ablesungen dieser Längen (sie wird also um so grösser sein, je kleinere Bruchtheile dieser Längen gemessen werden können) und dann durch die Vollkommenheit, mit welcher es gelingt, den Muskel während der Untersuchung unter möglichst gleichen Bedingungen der Ernährung, der Feuchtigkeit, der Temperatur u. s. w. zu erhalten.

E. Weber, welcher die Reihe der Elasticitätsbestimmungen des Muskels durch eine grosse Anzahl bahnbrechender Untersuchungen einleitete, benutzte bei seinen Messungen die Mm. hyoglossi des Frosches, die zu beiden Seiten der Stimmritze von zwei Fortsätzen des Kehlkopfsknorpels entspringen und zur Zunge sich begeben. Diese Muskeln wurden von Weber in der Weise ausgeschnitten, dass sie an einer Seite mit der Stimmritze, an der anderen Seite mit der Zunge im Zusammenhange blieben. Der Muskel wurde dann mit einem Haken an der Stimmritze als Henkel aufgehängt, während an die nach unten herabhängende Zunge eine kleine Wagschale durch einen Haken fixirt wurde. Der Haken befand sich zwischen den Muskelbündeln der beiden Hyoglossi. Der durch die Stimmritze gehende Haken wurde an einem Stativ befestigt, das der Richtung des Muskels entlang eine Millimeterscala trug.

Dicht oberhalb der Zunge wurde durch den Muskel ein horizontal ausgespannter Coconfaden gezogen, dessen Enden, mit kleinen gleichen Gewichten belastet, über Glasstäbe gehängt waren, die jederseits in acht Fuss Entfernung von dem Muskel auf gleicher Höhe befestigt wurden. Bei der Längenveränderung des Muskels verschob sich der Faden nach oben oder nach unten über die Millimeterscala.

Diese Verschiebungen wurden mit einem auf zehn Fuss Entfernung aufgestellten Fernrohre abgelesen. Der Coconfaden wurde, um sichtbarer gemacht zu werden, an dem vor der Scala sich bewegenden Theile geschwärzt. Wurde die ursprüngliche Länge des Muskels vom oberen unbeweglichen Ende bis zum Coconfaden bestimmt, so konnte dann jede Längenveränderung bis auf $^1/_{10}$ Mm. genau

gemessen werden. Da dieselbe Vorrichtung von E. Weber auch für Elasticitätsbestimmungen des contrahirten Muskels dienten, so waren die beiden durch den Muskel gehenden Haken mit Leitungsdrähten versehen, die zu einer Stromquelle gingen. Die Haken konnten also bei Schluss des Stromes als Elektroden fungiren.

Wundt hat die Messungsmethode vervollkommnet, indem er noch kleinere Verschiebungen als um $^1/_{10}$ Mm. messbar machte und ausserdem den übrigens ganz geringen Fehler der Ablesung eliminirte, der entstehen konnte, weil bei den Verkürzungen des Muskels der Coconfaden aus einer horizontalen in eine schiefe Lage kommen musste. Wichtiger war es, dass Wundt bei seinen Messungen der Elasticität des ruhenden Muskels auch die Wiederverkürzung nach der Entlastung berücksichtigte und die elastische Nachwirkung genauer beobachtete.

Die von Wundt benutzte Versuchsanordnung in der vollkommeneren Gestalt, in der er sie auch für die Messungen der elastischen Eigenschaften des erregten Muskels verwendete, war folgendermaassen getroffen.

Die meisten seiner Messungen stellte Wundt am lebenden, also an einem mit dem übrigen Körper durch Nerven und Gefässe zusammenhängenden Muskel an Die benutzte Muskelgruppe war der Adductor magnus [1]) und Semimembranosus (Cuvier), deren Sehnen sich leicht von den Nachbarsehnen isoliren lassen.

Zweckmässiger wäre es, die Tricepsgruppe zu wählen, weil deren Isolation es viel leichter gestattet Blutungen zu vermeiden und die normalen Circulationsbedingungen zu erhalten (s. § XIII). Der von Schwann bevorzugte Gastrocnemius besitzt diesen Vortheil in noch höherem Grade. Die Fixirung seines oberen Ansatzes ist nicht nur nicht, wie Wundt glaubt, schwieriger, als die des Adductor magn., sondern sogar viel leichter. Die Fixation des Beckens, wie sie Wundt wählte, damit der obere Ansatz des Muskels unverrückbar bleibt, ist auch dann nicht ganz sicher, wenn man dabei, wie er es gethan, durch mühselige Operationen den Oberschenkel exarticulirt.

Dagegen bietet es keine Schwierigkeit, eine scharfe Stahlspitze durch das untere Ende des Femur zu stossen und so dem obersten Ansatz des Gastrocnemius einen festen Halt zu geben. Da überdies der Gastrocnemius seine Blutgefässe durch zwei Aestchen der Cruralis meistens schon oberhalb der Kniekehle erhält, so kann man ihn leicht von den umgebenden Theilen isoliren, ohne seine Circulation im Mindesten zu beeinträchtigen. Seine oberhalb der Achillessehne verlaufende Vene müsste unterbunden und die Tibia nach Anlegung einer Massenligatur entfernt werden. Freilich hat der Gastrocnemius bei Elasticitätsversuchen den grossen Nachtheil des unregelmässigen Verlaufs seiner Fasern.

Das durch die Wahl des Muskels bedingte complicirte Präparationsverfahren von Wundt war oft mit mit solchem Blutverluste verknüpft, dass der Frosch gar nicht für die Versuche verwendet werden konnte.

Seine Zurichtungsweise des Frosches bestand in Folgendem:

Nachdem der Frosch durch einen Schlag mit dem Kopfe auf die Tischkante auf kurze Zeit betäubt oder decapitirt worden war, wurde zuerst in der Kniekehle derjenigen Seite, deren Muskeln man isoliren wollte, ein Hautschnitt gemacht; darauf wurden die Gefässe unterbunden. „Jetzt wird der ganze Unterschenkel so abgeschnitten,

1) Rectus int. maj. (Ecker), Gracilis (du Bois-Reymond).

dass nur das oberste Ende der Tibia noch an dem Stumpfe bleibt. Dann erweitert man den zuerst geführten Hautschnitt bis zum oberen Ende des Oberschenkels, löst am Knie die Haut ringsum ab und zieht sie über den Oberschenkel zurück bis zum oberen Rande des Beckens."

„Indem man nun den Frosch auf das andere Bein legt, fasst man den entblössten Oberschenkel und durchschneidet mit einem Scalpell die Muskeln an der äusseren Seite desselben kurz unter ihrer Insertionsstelle am Becken. Der Schenkelkopf, dessen äussere Seite man dadurch blossgelegt hat, wird exarticulirt und der ganze Oberschenkel vorsichtig durch gegen ihn gerichtete Messerzüge herauspräparirt; unten zerschneidet man die Bandverbindungen zwischen Oberschenkel und oberem Tibiaende, welches letztere man an den Sehnen der Muskeln hängen lässt. Am schwierigsten ist nun die Isolirung der zu benutzenden Muskeln; mit dem geringsten Blutverluste ist es verknüpft, wenn man möglichst viele Muskelstücke, ohne die Benutzung schneidender Werkzeuge, blos mit Ziehen der Pincette entfernt. Dabei ist es räthlich, auf der Arterie und dem Nerven etwas fremde Muskelsubstanz aufsitzen zu lassen; auch der Biceps femoris kann oft nicht ohne zu grosse Gefahr entfernt werden. — Gewöhnlich schnitt ich die zurückgeschlagene Schenkelhaut oben kurz ab, zuweilen stülpte ich sie auch wieder über den Schenkel und nähete den an der hinteren Seite gemachten Schnitt zu; es umgab dann die Haut als ein ziemlich weiter Sack die wenigen zurückgebliebenen Muskeln; die etwaigen schädlichen Einflüsse des Blossliegens der letzteren sollten dadurch, zum Theil wenigstens, vermieden werden; der Erfolg lehrte aber in dieser Hinsicht keinen Unterschied."

„Auf der anderen Körperfläche wurde, nachdem die Art. iliaca oben war unterbunden worden (was leicht geschehen kann, indem man von hinten zur Seite des Kreuzbeins eingeht), der Oberschenkelkopf sogleich exarticulirt und das ganze Bein entfernt."

Zur Fixation des oberen Ansatzes des Muskels stiess Wundt einen stählernen Spiess durch die Pfannen, der später festgeschraubt wurde. Der Frosch wurde mit Schnuren in horizontaler Stellung an ein Brett befestigt. Zwischen die Sehnen der beiden Muskeln wurde ein Haken [1]) gesteckt, der unten ein kleines Schälchen zum Auffangen des Blutes besass. In seiner Verlängerung trug er einen kleinen Stahlstab von 1 Mm. Durchmesser. An diesem Stab war durch eine Feder eine versilberte Scala, die Fünftheile eines Millimeters anzeigte, angebracht, und zwar derart, dass sie vertical und horizontal beliebig gestellt werden konnte. Die Ablesungen der Längsveränderungen wurden mittelst eines Mikroskops mit Ocularmicrometer bis 0,02 Mm. direct gemacht. Bis 0,002 konnten sie annähernd geschätzt werden.

Der Stahlstab stand unten mit einem etwa 5 Ctm. langen Messingrahmen in Verbindung und zwar in der Art, dass der Rahmen nach Belieben höher oder tiefer auf ihn aufgeschraubt werden konnte. Dieser Rahmen trug seinerseits unten einen zweiten ähnlichen Rahmen, in welchem die Wagschale mit Gewichten aufgelegt wurde. Damit beim Auflegen der Gewichte keine Schwankungen der be-

1) Statt dieses Hakens benutzte Wundt später eine Stahlklemme, welche in ähnlicher Weise mit dem die Scala tragenden Stahlstab verbunden wurde.

schriebenen Verbindungsstücke stattfänden, wobei die Scala aus dem Gesichtsfelde des Mikroskops verschwinden könnte, trug der unterste Rahmen an einem Fortsatze vier Glimmerflügel, die in ein Gefäss mit Oel tauchten.

Bei dem ruhenden Muskel wurden mit dieser Vorrichtung die Dehnungen des Muskels bei verschiedenen Belastungen in derselben Weise wie von E. Weber ausgeführt und die entsprechenden Verlängerungen abgelesen.

Schwieriger und vieldeutiger sind die Messungen, welche in ähnlicher Weise an dem Muskel während seines thätigen Zustandes ausgeführt wurden.

Da Weber es für unmöglich hielt die Spannungen während der verschiedenen Grade der Zusammenziehung [1]) zu bestimmen, so hat er vorgezogen, statt dessen die Stärke der Zusammenziehung bei verschiedenen Graden der Spannung zu messen.

Dies würde zwar bei einem anorganischen Körper oder bei einem organischen Gewebe, deren Verkürzung nur durch elastische Kräfte erzeugt wird, ganz auf dasselbe hinauskommen. Nicht so aber beim Muskel. Das Verfahren Weber's wäre hier nur gerechtfertigt, wenn es vorher schon bewiesen wäre, dass der ganze Vorgang der Contraction nur in einer Elasticitätsveränderung besteht. Diesen Beweis versuchte aber Weber erst durch seine Messungen der Elasticität des thätigen Muskels zu geben. Das, was also erst bewiesen werden sollte, wurde schon im Beginne der Untersuchung als selbstverständlich vorausgesetzt. Nun ist es aber auch, abgesehen von den vielen später von verschiedenen Beobachtern gelieferten Beweisen, dass man es bei der Thätigkeit des Muskels mit zwei gesonderten Factoren, zu thun hat, Weber selbst nicht gelungen, diesen Beweis zu liefern. Die nicht genügend berücksichtigten Veränderungen der Ermüdung führten, wie Volkmann bewiesen hat, schon einen experimentellen Fehler in seine ganze Untersuchung ein, der die gezogenen Schlüsse illusorisch macht. Der einzige wirkliche Beweis für die Weber'schen Anschauungen könnte nur durch die Beobachtung geliefert werden, dass bei einer gewissen Belastung der Muskel sich unter dem Einflusse der Reizung verlängere. Aber auch der eifrigste und competenteste Vertheidiger der Weber'schen Anschauungen, Fick, giebt zu, dass eine solche Verlängerung nie stattfindet.

Wenn aber auch dem Bestreben Weber's, wie auch vieler seiner Nachfolger, aus der Stärke der Zusammenziehung bei verschiedenen Graden der Dehnung allein auf die Veränderungen der Elasticität im Muskel zu schliessen, wahrscheinlich ein principieller Fehler zu Grunde liegt, so dürfen doch die von ihnen verwendeten Methoden nicht unberücksichtigt gelassen werden. In vielen Beziehungen sind sie noch sehr instructiv.

Die von Weber benutzte Methode bestand darin, dass er den auf die obige Weise herauspräparirten und aufgehängten Muskel sowohl während der Ruhe als während der Thätigkeit mit verschiedenen Gewichten belastete und seine Länge-

---

1) Es wäre sehr wünschenswerth, dass im physiologischen Sprachgebrauch das Wort „Zusammenziehung" und „Verkürzung" nicht in demselben Sinne verwendet würden; das erstere Wort sollte die Längeveränderung durch Erregung, das letztere die durch Entlastung, Starre u. s. w. erzeugte bezeichnen. Im Französischen würden ihnen dann die Worte „contraction" und „raccourcissement" entsprechen.

veränderungen beobachtete. Die Differenz in den beiden Längen desselben Muskels, während er von den gleichen Gewichten das eine Mal in der Ruhe, das andere Mal im Thätigkeitszustande (durch Maximalreize) gedehnt wurde, gab direct die Grösse der stattgefundenen Zusammenziehung, das angehängte Gewicht das Maass der Spannung des Muskels.

Um die Ermüdungseinflüsse von einer Zusammenziehung zur anderen zu eliminiren, verfuhr Weber in der Weise, dass er der Reihe nach grössere oder geringere Spannungen mit einander abwechseln liess; dabei verglich er nicht die zwei der Reihe nach aufeinanderfolgenden Messungen, sondern er nahm das Mittel aus einer ersten und einer dritten Messung, die bei gleicher Spannung gemacht wurden, und verglich sie mit der zweiten, dazwischen liegenden, welche bei einer anderen Spannung vorgenommen wurde.

Volkmann hat mit Recht darauf hingewiesen, dass Weber dadurch zwar „die kleinen Ermüdungseinflüsse, welche von einem Versuche auf den nächstfolgenden übergehen, eliminirte, dagegen die grossen Einflüsse unberücksichtigt liess, welche innerhalb der Grenzen einer und derselben Contractionsperiode sich geltend machen."

Volkmann selbst benutzte bei seinen Versuchen ausser dieser Weber'schen noch drei andere Methoden: 1) Er brachte unter dem dehnenden Gewichte eine passende Stütze an, so dass die Länge des Muskels bei jeder Belastung constant blieb; erst wenn der Muskel durch Reizung zur Zusammenziehung gebracht wurde wirkte das ganze Gewicht auf ihn (die Helmholtz'sche Ueberlastungsmethode). 2) Er reizte den nicht gespannten Muskel und belastete ihn erst im Moment der stärksten Zusammenziehung; und 3) brachte er das Gewicht in dem Moment an, wo es der Kraft des Muskels gerade das Gleichgewicht halten konnte; der Muskel also an weiterer Zusammenziehung verhindert war.

Die nach diesen verschiedenen Methoden angestellten Versuche ergaben widersprechende Resultate über die Dehnbarkeit des contrahirten Muskels, welche darthun, dass die Ermüdung schon während der tetanischen Zusammenziehung selbst sich in einer Weise geltend macht, welche allen nach dieser Richtung gemachten Messungen nur einen sehr beschränkten Werth beizulegen gestattet. Wenn die in Folge dieser Einwände zwischen Volkmann und E. Weber geführte jahrelange Discussion [1]) auch manchen Detailfehler in den Volkmann'schen Versuchsanordnungen erwiesen hat, so bleibt doch im Allgemeinen der von Volkmann gemachte Einwand vollgültig bestehen. Er richtet sich natürlich in dieser Beziehung auch gegen alle anderen Versuche, welche nach der Weber'schen Methode angestellt worden sind.

Auch bei diesen Untersuchungen (Wundt's u. A.) wurde ausser Acht gelassen, dass man bei Belastung eines thätigen Muskels immer zweien Factoren, der Contractilität und der Elasticität, entgegenwirkt. Der von der Dehnung resultirende Effect kann also nicht auf Rechnung des einen dieser Factoren gesetzt werden.

---

1) Diese Discussion ist in methodischer Beziehung nach vielen Seiten hin in hohem Grade lehrreich.

Nur bei Berücksichtigung dieser zwei verschiedenen Eigenschaften des Muskels, deren jede wahrscheinlich einer der zwei verschiedenen Substanzen des Muskels (Bowmann, Brücke) zukommt, können fernere Untersuchungen in dieser Richtung fruchtbringend sein. [1])

Das hier Gesagte bezieht sich selbstverständlich auch auf die Untersuchungen der Elasticität des thätigen Muskels, welche mit Hilfe der Torsionsschwingungen (Wundt) oder der Bestimmungen der Tonhöhe (Harless) gemacht worden sind.

Das letztere Verfahren ist übrigens schon darum bei Untersuchungen des thätigen Muskels nicht anwendbar, weil die Dickenzunahme des schwingenden Muskels an sich eine Veränderung der Schwingungszahl herbeiführen muss, die durch die gleichzeitig eintretende Verkürzung nicht gerade compensirt zu werden braucht. Wollte man aber die Schwingungszahl des erregten, aber an der Contraction durch Belastung verhinderten Muskels mit der des ruhenden bei gleicher Länge vergleichen, so würde man wieder mit einem während der Contraction gedehnten Muskel zu thun haben. Die der Weber'schen Methode gemachten Einwände würden also auch diese Versuchsweise treffen.

Wundt hat seine mit den Ueberlastungsmethoden (1te Volkmann'sche. S. o.) gewonnenen Resultate durch Bestimmungen der Schwingungszahl des um seine Axe in rotirenden Schwingungen versetzten Muskels controlirt. [2]) Wird aus der Zahl der Schwingungen, die er in einer gegebenen Zeit macht, die Schwingungsdauer berechnet, so kann man aus dieser letzteren den Elasticitätscoëfficienten aus der Gleichung

$$t = \frac{\mu}{q}\sqrt{\frac{l}{E.p}}$$

bestimmen. t bezeichnet die Schwingungsdauer, l die Länge und q den Querschnitt des Muskels, μ einen constanten Coëfficient und E den Elasticitätscoëfficient.

(Diese Gleichung ist nur für den Fall gültig, wenn die Schwingungsbogen so klein sind, dass die Schwingungen isochronisch erfolgen.)

Um nun die Elasticität des ruhenden und thätigen Muskels vergleichen zu können, was bei gleichen p, l und q am leichtesten geschieht, wählte Wundt p so gross, dass der Muskel bei der Reizung sich nicht mehr zusammenziehen konnte, also l und q gleich blieben. Dann verhält sich die Elasticität (E) des ruhenden zu der des thätigen Muskels (E') umgekehrt wie die Quadrate ihrer Wurzeln.

$$E : E' = t'^2 : t^2.$$

Bestimmt man E nach den bekannten Methoden, so hat man

$$E' = \frac{t^2}{t'^2} \cdot E.$$

Die Schwingungsdauer des torquirten Muskels wurde mittelst eines Fernrohrs an einem Spiegel abgelesen, das am obersten Rahmen der oben beschriebenen

---

1) Siehe im nächsten Paragraph das Kronecker'sche Ermüdungsgesetz des belasteten Muskels, welches das Gleichbleiben der Elasticität des Muskels während der Thätigkeit und der Ruhe beweist.

2) Die Wundt'schen Versuche wurden grösstentheils vor dem Erscheinen der Volkmann'schen Einwände gegen Weber's Methode ausgeführt.

Wundt'schen Vorrichtung angebracht war. (Die unteren Rahmen, sowie die Scala waren weggelassen.)

Es braucht wohl nicht noch weitläufiger auseinandergesetzt zu werden, dass der Torsionsversuch ein in abgeänderter Form angestellter Dehnungsversuch ist, da der an seinen beiden Enden fixirte Muskel bei den Torsionsschwingungen nicht unbedeutend gedehnt wird. —

Man kann das Dehnungsgesetz des ruhenden Muskels bei verschiedenen Belastungen auch mit Hilfe der graphischen Methode erhalten. Die graphische Aufzeichnung hat besonders den Vortheil, dass sie es gestattet, den ununterbrochenen Verlauf der Dehnung, sowie auch der Nachdehnung genau zu verfolgen.

Marey construirte eigens für diesen Zweck einen sehr passenden graphischen Apparat, der in seinem „Du mouvement dans les fonctions" etc. S. 298 abgebildet ist. In diesem Apparat wurde die Vermehrung resp. Verminderung der Belastung des Muskels durch das stetige Ein- resp. Ausfliessen von Quecksilber aus einem an dem Muskel aufgehängten Gefässe erzeugt.

Eine besondere Vorrichtung, welche mit dem über eine Rolle gehenden Faden, der dieses Gefäss trug, verbunden war, gestattete, dass der Zug von dessen Gewichte sich immer unter denselben mechanischen Bedingungen auf einem Schreibhebel äusserte. Die Bewegungen dieses Hebels wurden auf der langsam rotirenden Trommel verzeichnet.

Am Schlusse dieses Paragraphen sollen noch einige Angaben über die Ausführungsweise der Versuche über die Muskelstarre gemacht werden.

Für Demonstrationszwecke ist es am leichtesten, die Starre durch Wärme und durch Unterbrechung der Circulation hervorzurufen.

Um die Wärmestarre an Froschmuskeln zu erzeugen, steckt man den Froschschenkel in ein Probirröhrchen und setzt dies letztere in ein Wasserbad von 40° bis 50° C. Bei der ersteren Temperatur bedarf es mehrerer Minuten bis zum Eintritt voller Starre; bei der letzteren wird er momentan todtenstarr.

Um zu zeigen, dass der Circulation entzogene Muskeln schneller todtenstarr werden, steckt man die beiden hinteren Extremitäten eines intacten Frosches in zwei Probirröhrchen, die man aneinander bindet, und setzt diese Röhrchen einer Temperatur von 36°—40° aus, nachdem man bei der einen Extremität durch die Anlegung einer Massenligatur mittelst eines gewöhnlichen Bindfadens dicht unterhalb des Beckens die Circulation aufgehoben hat. Nach 1—2 Minuten fängt diese Extremität schon an, starr zu werden, während die andere noch erregungsfähig ist.

Löst man die Ligatur, so kann nach einiger Zeit auch bei dem schon erregungslosen Muskel die Erregbarkeit noch zurückkehren, wenn die Starre erst im Beginne ist.

Der Preyer'sche Versuch mit Herstellung der Lebenseigenschaften des wärmestarren Froschschenkels durch Herstellung der Circulation und Eintauchen des Schenkels in eine schwache Kochsalzlösung wird in ähnlicher Weise ausgeführt. Vor dem Einsenken in die Kochsalzlösung wird der Schenkel enthäutet.

Die Wiederherstellung der Erregbarkeit gelingt dabei übrigens nur dann, wenn die Starre nur die oberflächlichen Muskelschichten ergriffen hat. Diese oberflächliche Starre genügt nämlich schon dazu, um den im Inneren noch contractions-

fähigen Muskel an der Zusammenziehung zu verhindern, da die harte Schicht wie ein Gypsüberzug den Muskel unbeweglich macht.

Wird unter dem Einflusse des Kochsalzes die oberflächliche Schicht wieder flüssig, so kann der innere Theil des Muskels seine Form unter der Einwirkung von Reizen verändern. Die oberflächliche, schon starr gewesene Schicht wird zwar flüssig, erlangt aber ihre Lebenseigenschaften nicht mehr. Ist aber der Muskel in seiner ganzen Dicke wärmestarr geworden, dann kann auch die Kochsalzlösung die Herstellung der Contraction nicht mehr unterstützen.[1])

Der Stenson'sche Versuch kann bei Hunden und Kaninchen auf verschiedene Weise ausgeführt werden, je nachdem die Aorta allein oder sammt der V. cava unterbunden werden soll.

Soll nur die Aorta unterbunden werden, so ist die Eröffnung der Bauchhöhle nicht zu vermeiden. Durch einen zwei Finger breiten langen Schnitt in der Linea alba wird die Bauchhöhle eröffnet. Mit dem Mittel- und Zeigefinger der linken Hand wird nach Beiseiteschieben des Omentums und der Därme die Aorta von der linken Seite aus aufgesucht. Sodann wird mit der rechten Hand eine grosse gekrümmte Präparationsnadel mit einem durchgezogenen Faden in die Wunde eingeführt und den Fingern der linken Hand, welche die Aorta nicht loslassen, genähert. Von diesen Fingern geleitet, isolirt man mit der Nadel die Aorta von der V. cava und schiebt vorsichtig die Nadel von rechts nach links um die Aorta, erfasst den Faden mit der linken Hand und zieht die Nadel zurück und aus der Wunde heraus.

Die um die Aorta gelegte Fadenschlinge wird entweder mit einer Schleife festgebunden oder, was vollkommen ausreicht, um die Circulation in den unteren Extremitäten aufzuheben, nur in die Höhe gehoben und festgehalten. Nach 10 bis 15 Minuten tritt volle Lähmung der Extremitäten ein. Wird die Schlinge losgelassen, so tritt die Lähmung zurück.

Eine elegantere Ausführungsweise des Stenson'schen Versuchs hat du Bois-Reymond angegeben. Anstatt die Bauchhöhle zu eröffnen, wird die Lendenwirbelsäule des Kaninchens mit einer krummen Nadel umstochen, an dieser ein Band durch die Bauchhöhle geführt und über den Dornfortsätzen zugeschnürt. Die gekrümmte Nadel ist troikartförmig zugespitzt und in einer entsprechend gekrümmten Scheide gelegen. Als Schnur wählt du Bois eine seidene Plattschnur, die er vor der Einführung einölt.

Das Kaninchen wird in der Bauchlage befestigt oder von einem Gehilfen festgehalten, so dass die Lendengegend der Wirbelsäule dem Operirenden frei vorliegt. Durch einen kleinen Hautschnitt über dem Quadratus lumborum wird die Nadel mit freier Spitze vorsichtig in die Bauchhöhle unterhalb des vierten Lendenfortsatzes eingebohrt. Sobald man in die Bauchhöhle gelangt, wird die Spitze etwas zurückgezogen und mit der Scheide des Troikarts weiter über die Wirbelsäule zu der entsprechenden Stelle am linken Quadratus lumborum vorgeschritten. Fühlt

1) Mehrere Versuche, welche ich vor Jahren zusammen mit N. Gréhant auf Cl. Bernard's Veranlassung anstellte, überzeugten uns auf das Unzweideutigste, dass dem Preyer'schen Versuch nur diese Bedeutung zukommt.

man die stumpfe Spitze der Scheide auf der entgegengesetzten Seite durch, so schiebt man die Spitze der Nadel wieder vor und durchsticht sie nach aussen.

Die so hervordringende Schnur wird fest angezogen und deren Enden über den Dornfortsätzen zusammengebunden. Die Ligatur kommt dann in die Furche zu liegen, welche die an einanderstossenden beiden Ränder der Psoae bilden. Man kann die mit einem Schleifenknoten festgebundene Schnur leicht lösen oder von Neuem anziehen und so den Stenson'schen Versuch mehrmals der Reihe nach wiederholen. Die freigelassenen Thiere überleben diese Opèration.

Wie schon Longet bemerkte, tritt die Lähmung und der Verlust der Erregbarkeit in den Extremitäten viel früher ein, wenn man die Aorta sammt der V. cava zuschnürt. Dem entsprechend tritt gewöhnlich die Lähmung nach dieser Unterbindung schon nach 5—15 Minuten auf. Der Verlust der Erregbarkeit stellt sich nach 1—2 Stunden nach der Ligatur ein.

Man kann auch ohne jede Verletzung des Thieres während 5—10 Minuten die Aorta zuschliessen, indem man beim Kaninchen an den Dornfortsätzen der Lendenwirbel vorschreitend die Aorta durch die Haut mit den Fingern aufsucht und an die Wirbelsäule andrückt.. Die Schwierigkeit besteht nicht in der Aufsuchung und Compression der Aorta, sondern an der baldigen Ermüdung der Finger, welche die Compression unmerkbar zu vermindern zwingt. Die Aorta entschlüpft dann leicht dem Drucke.

Um die kleine Volumverminderung des Muskels bei der Contraction zu demonstriren, befestigt manden Froschschenkel an den Kork, welcher eine mit verdünntem Blutserum gefüllte Flasche luftdicht verschliesst. Durch diesen Kork wird eine feine tubulirte Röhre geführt, die mit derselben Flüssigkeit gefüllt ist. Zwei durch den Kork gezogene Leitungsdrähte sind entweder mit dem Muskel oder mit seinem Nerv verbunden. Bei Contractionen des Schenkels, durch elektrische Reizung herbeigeführt, sieht man in der Steigröhre Schwankungen des Flüssigkeitsniveaus (Erman, Valentin).

§ XIII. Methoden zur Beobachtung der Leistungen des Muskels.[1])

Von den Leistungen des Muskels steht die mechanische Arbeit als Ausduck seiner physiologischen Bestimmung obenan.

Als Maass für die von dem Muskel geleistete Arbeit wird den mechanischen Principien gemäss das Product aus dem von dem Muskel bei seiner Zusammenziehung gehobenen Gewichte und der Hubhöhe genommen. Diese Messungsweise erfährt wegen mehrerer Eigenthümlichkeiten bei der Beobachtung der Contractionshöhe von verschiedenen Autoren einige Modificationen. Während die Meisten nach Ed. Weber als Maass für die Hubhöhe diejenige annehmen, bei welcher der maximal thätige Muskel dem gehobenen Gewichte gerade das Gleichgewicht zu halten vermag, nehmen Andere nach Fick als Maass der äusseren Arbeit des Muskels das Product aus dem Gewicht und der Wurfhöhe (Steighöhe), d. h. der Höhe, welche das Gewicht in Folge der von der Muskelcontraction erlangten Geschwindigkeit überhaupt erreicht.

---

1) Gegen die den beiden letzten Paragraphen zu Grunde gelegte Eintheilung würde sich mancher Einwand vorbringen lassen. Sie wurde aber nur der Uebersichtlichkeit wegen gewählt.

Die Berechtigung zu einer solchen Messung sieht Fick ganz richtig darin, dass in dem Augenblick, wo der Muskel seine Zusammenziehung eben beendet, die äussere von ihm geleistete Arbeit aus zwei Summanden besteht: der Grösse der Widerstände oder Gegenkräfte, welche er bei der Zusammenziehung überwunden hat, und der Grösse der lebendigen Kräfte, welche das mit dem Muskel verbundene Gewicht erlangt hat. Dass in Folge der am Ende des Muskelzugs erlangten Endgeschwindigkeit das Gewicht höher steigt, als der contrahirende unbelastete Muskel gestiegen wäre, kann selbstverständlich kein Einwand gegen diese Maassweise gelten.

Die Fick'sche Messungsweise ist aber nur so lange zulässig, als man nur den Nutzeffect oder die äussere Arbeit des Muskels bestimmen will. Anders ist es, wenn aus diesem Nutzeffecte auf die Arbeitsfähigkeit des Muskels geschlossen werden soll. Hier kann nur die Weber'sche Hubhöhe (Gleichgewichtshöhe Fick's) als Maass gelten. Die Wurfhöhe hängt nämlich noch von vielen äusseren Bedingungen ab, die theilweise von der Versuchsanordnung selbst geschaffen werden. Wenn man z. B., wie es leider noch häufig geschieht, die Muskelzuckung mittelst des schweren Helmholtz'schen Hebelwerks verzeichnet, so kann man bei derselben Leistungsfähigkeit des Muskels ganz verschiedene Wurfhöhen erhalten. Werden grössere Belastungen an diesem Hebel angebracht oder wird der Verlauf der Zuckung im Beginne durch Erwärmung (Schmulewitsch) oder andere Ursachen steiler gemacht, so wird man wegen der grösseren eigenen Geschwindigkeit des Hebelwerkes grössere Wurfhöhen erhalten, trotzdem die wirkliche Arbeitsfähigkeit des Muskels dabei vermindert wird (S. u.).

Die Hubhöhe hängt von den näheren Bedingungen ab, unter welchen die Arbeit geleistet wird, also von der Stärke der Belastung, von dem Dehnungsgrade des Muskels vor der Zusammenziehung, von der Reizstärke, von der Ermüdung in Folge vorausgegangener Leistungen u. s. w.

Die genaue Kenntniss dieser Abhängigkeit der Muskelarbeit von den erwähnten Variabeln ist für Beobachtungen der Muskelthätigkeit unumgänglich erforderlich. Es sollen daher die Methoden, diese Abhängigkeit zu bestimmen, hier angeführt werden.

Die ersten genaueren Messungen der Muskelarbeit sind von Ed. Weber ausgeführt. An dem Musculus hyoglossus wurden verschiedene Belastungen nacheinander aufgehängt und bei jeder neuen Belastung die Länge dieses Muskels während der Ruhe und während maximaler Reize gemessen. Die Differenz dieser beiden Längen, multiplicirt mit dem Gewichte der Belastung, gab die gesuchte Arbeit. Von der Vorstellung ausgehend, dass dem Muskel zwei natürliche Zustände mit verschiedenen elastischen Kräften zukommen, der ruhige und thätige, suchte E. Weber mit diesen Differenzen gleichzeitig auch die Veränderung der Elasticität des thätigen Zustandes zu ermitteln (s. o.). Die ungenügende Art, wie er den Einfluss der Ermüdung durch die Vergleichung der Mittel aus drei aufeinander folgenden Beobachtungen eliminiren wollte, ist schon oben behandelt worden. Die so erhaltenen Angaben über die Abhängigkeit der Arbeit von der Belastung bedürfen also einer Correction, die aber hier nur ganz gering ausfällt. Auf das Gesetz der Abhängigkeit der Hubhöhen von den Belastungen wird der Einfluss dieses Ermüdungsfehlers kaum von Bedeutung sein.

Diese Abhängigkeit hat sich aber aus den späteren Beobachtungen Fick's und Heidenhain's viel complicirter, als bei Weber ergeben. Während nämlich nach Weber mit steigender Belastung eine Abnahme der Hubhöhen stattfindet, fand Fick, dass der Sphincter der Anodonten sich um so stärker contrahirt, je grösser seine Belastung ist. Heidenhain fand, dass in gewissen Grenzen der Belastung dies auch bei tetanisirten Muskeln der Frösche der Fall ist. Die Bedingungen, unter denen dies geschieht, sind dann in einer Reihe sinnreicher Versuche von Neuem von Fick geprüft worden. Wenn ihre Resultate im Allgemeinen auch eine scheinbare Zunahme der Hubhöhen mit der Belastung ergeben, so ist es aber doch wahrscheinlich, dass diese Abweichung von dem Weber'schen Gesetze nur von den Bedingungen der Dehnung und Spannung abhängt, in welche die Muskel durch die Versuchsanordnungen von Heidenhain und Fick versetzt wurden.

Die von Fick benutzte, oben schon angedeutete Methode bestand darin, dass er dem Muskel die Zusammenziehung erst gestattete, nachdem durch Einwirkung der Reize der tetanische Zustand sich in ihm vollständig entwickelt hat. Der an das Hebelwerk des Helmholtz'schen Myographions befestigte Gastrocnemius wurde durch das Oeffnen des secundären Kreises eines du Bois'schen Inductionsapparates in Erregung versetzt. Der Muskel konnte sich aber nicht eher zusammenziehen, als bis ein zweiter einen Elektromagnet umkreisender Strom geöffnet wurde, durch welchen der mit einem Stück Eisen versehene Schreibhebel festgehalten war.

Derselbe Schlüssel, welcher den Muskel in den Kreis des erregenden Stromes einführte, öffnete bei seiner weiteren Drehung auch den Strom des Elektromagnetes. Dies geschah dadurch, dass der Elfenbeingriff des Vorreibers am gewöhnlichen Schlüssel von du Bois-Reymond bei einer gewissen Stellung einen Bügel in die Höhe hob, der in zwei Quecksilbernäpfe tauchte. Durch Herausheben dieses Bügels wurde der den Elektromagnet umkreisende Strom geöffnet. Die Hebung dieses Bügels durch den Griff des Vorreibers geschah eine gewisse messbare und beliebig variirbare Zeit, nachdem der Vorreiber den Contactklotz verlassen, also der Muskel dem Reiz ausgesetzt hat.

Auf diese Weise beginnt der Muskel seine Contraction erst, nachdem er eine sehr hohe Spannung erlangt hat. Die Wurfhöhe, bis zu welcher dabei der Hebel nebst Gewicht geschleudert wird, ist bedeutend grösser, als ohne die vorherige Spannung; sie ist ferner bedeutend grösser, wenn der Muskel von dem zu hebenden Gewichte vor der Reizung gedehnt war (Weber'sche Versuchsart), als wenn das Gewicht nur als Ueberlastung (Helmholtz'sche Art) gebraucht wurde, d. h. an dem ruhenden Muskel keine Dehnung ausüben konnte.[1])

1) Um den Unterschied zwischen Hub- und Wurfhöhen zu demonstriren, eignet sich diese leicht herstellbare Versuchsanordnung sehr gut. Nach Fick's Vorschlag schneidet man vorsichtig die beiden Oberschenkelknochen heraus und verbindet so statt einen Muskel die beiden Oberschenkel, indem man das eine Kniestück mit dem Myographion, das andere mit der Klemmpincette verbindet. Man erhält dadurch einen doppelt starken Effect, indem der Muskel dabei doppelt länger wird. Das Becken dient bei exarticulirten Oberschenkelköpfen gleichsam als Inscriptio tendinea.

Es ist klar, dass die unter solchen Bedingungen gefundenen Wurfhöhen nicht gegen die von Weber behauptete Abhängigkeit der Hubhöhen von der Belastungsgrösse verwerthet werden können.

Diese Abhängigkeit der Muskelarbeit von den Reizstärken kann in doppelter Weise ermittelt werden. Entweder man lässt die Belastung unverändert, variirt nur die Reizstärke und misst dabei die verschiedenen Hubhöhen; oder man bestimmt vorher die von dem Muskel zu leistende Arbeit und sucht nun die Reize zu ermitteln, welche ihn zu dieser befähigen.

Diese letztere Methode kann ihrerseits in doppelter Weise zur Ausführung gelangen: 1) man belastet den Muskel mit immer denselben Gewichten und sucht die Reize zu bestimmen, welche dasselbe auf die gewünschten Höhen zu erheben vermögen; 2) man lässt die Hubhöhe constant und variirt nur die Belastungen.

Diese letztere Methode wurde von Hermann angewendet. Er vereinfachte deren Anwendung noch insofern, als er die Höhe auf ein Minimum reducirte, die Arbeit also dem gegebenen Gewichte proportional setzen konnte. Die Aufgabe besteht also in diesem Falle darin, die Reize zu finden, welche verschiedene Gewichte auf diese minimale Höhe zu erheben vermögen. Seine Versuche erwiesen aber bald die Unmöglichkeit, auf diesem Wege die Abhängigkeit der Arbeit von der Reizstärke zu ermitteln, und zwar hauptsächlich, weil beim belasteten Muskel der für die Erhebung um eine minimale Höhe nothwendige Reiz bei verschiedenen Grössen der Gewichte der gleiche bleibt.[1])

Die erstere der erwähnten Methoden, die darauf ausgeht, bei gleichbleibender Belastung und Variation der Reizstärken die Hubhöhen zu ermitteln, wurde von Fick mit erfolgreicheren Resultaten angewendet. Oben (§ X) sind seine Resultate schon besprochen.

Die Arbeitsgrössen des Muskels, bei einem tetanisch erregten Muskel geprüft, geben natürlich andere Werthe, als wenn derselbe nur von einzelnen Reizen getroffen wird. Die Abhängigkeit der Muskelarbeit von der Ermüdung kann aber in exacter Weise nur ermittelt werden, wenn der Muskel in verschiedenen Intervallen von genau abstufbaren Einzelreizen getroffen wird.

Die Gesetze dieser Abhängigkeit sind in neuester Zeit durch die zahlreichen Untersuchungen von Kronecker ermittelt und in folgenden zwei Hauptsätzen formulirt worden: Bei Reizung des überlasteten Muskels mit gleichen maximalen[2]) Inductionsschlägen in gleichen Intervallen ist die Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Zuckungshöhen (die Ermüdungsdifferenz) eine constante; die Verbindungslinie dieser Höhen (die Ermüdungscurve) ist also eine gerade. Sie fällt um so steiler zur Abscisse, je kleiner die Reizintervalle sind.

---

1) Diese Thatsache, welche eigentlich im Widerspruche mit der eben besprochenen Weber'schen Theorie die Unabhängigkeit der Elasticität von den Reizen beweist, da sie sich nur dadurch erklären lässt, dass der gedehnte Muskel durch den geringsten Anstoss aus seiner Gleichgewichtslage im Sinne der Contraction seine Gestalt verändert, wurde von Hermann im Gegentheil zu Gunsten dieser Theorie gedeutet.

2) In einer jüngst im Ludwig'schen Laboratorium ausgeführten Untersuchung von Tiegel sind mit einigen Abweichungen diese Gesetze auch für untermaximale Reize bestätigt gefunden.

Bei dem belasteten Muskel, der also vor Beginn der Zuckung von dem Gewichte gedehnt wurde, gilt dieses Gesetz nur bis zu dem Punkte, wo die Ermüdungslinie die von dem ruhenden und unbelasteten Muskel gezeichnete Abscisse schneidet, wo die Zuckungshöhe also gleich ist der Länge, um welche der Muskel von dem Gewichte gedehnt wurde. Von diesem Punkte ab wird diese gerade Linie nahezu eine Hyperbel, deren eine Asymptote die Abscisse des ruhenden belasteten Muskels ist.[1])

Die von Kronecker (und theilweise auch von Tiegel) benutzten Vorrichtungen, wie der Pendelcommutator, das Relais, die Vorrichtung zur Abblendung der Schliessungs- oder der Oeffnungsschläge, die Unterbrechungseinrichtung des Metronoms[2]) und der graduirte Inductionsapparat sind schon in der ersten Hälfte dieses Capitels beschrieben. Es erübrigt also hier nur noch, einige Worte über die allgemeine Anordnung dieser Versuche zu sagen.

Die isolirten Tricepssehnen beider Extremitäten wurden mittelst starker Fäden mit den Haken zweier Myographien verbunden, von der Einrichtung des auf Taf. LIII Fig. 1 abgebildeten. Die Schreibhebel dieser Myographien zeichneten die Zuckungshöhen auf der berussten Fläche einer grossen rotirenden Trommel um das Doppelte vergrössert. Ein von dem Metronom mittelbar abhängiger Elektromagnet gestattete den Windflügeln des Trommeluhrwerks eine halbe Drehung und dadurch der Trommel ein kleines Stück Rotation. Darauf liess ein anderer Elektromagnet den Pendelcommutator eine Schwingung ausführen, welche die Richtung des Stromes umkehrte. Die Zuckungshöhen wurden in dieser Weise nebeneinander in Entfernung von 1^{mm} gezeichnet und eine ganze Reihe derselben konnte auf die Weise übersehen werden.

Ein Schema der Kronecker'schen Versuchsanordnung ist auf Taf. XLI Fig. 5 gegeben. *M* ist das Pendel des Maelzel'schen Metronoms, welches bei seinen Schwingungen den Bügel aus dem Näpfchen herausnimmt (siehe Seite 325) und „öffnet somit den von *E* aus die primäre Spirale und den Magneten des Schlittenapparates einfassenden —Stromkreis (*E*, *M*, *E*), während der bei *n* noch geschlossene — · — · — · Kreis des vom Element *e* ausgehenden Stromes den Magneten *W* am Pendel-Commutator wirksam hält. Der Oeffnungs-Inductionsstrom von *pp'* auf der . . . . . Bahn durch den Pendel-Commutator *a*, *b* ein —, bei *c*, *d* austretend, erregt das Muskelpaar bei *F*. Jetzt löst sich der Anker vom stromlosen Magnete des Schlitten-Inductoriums, lässt die Nebenschliessungs-Wippe frei, diese, sich nach *N* senkend, hebt die Verbindung bei *n*, wodurch der Pendel-Commutator, von seinem Magnet losgelassen, seine Schwingung beginnt; der Bügel *N* schliesst die Leitung *e*, *K*, *N*, *n*, *e*, wodurch der Sperrapparat den Kymographion-Windflügel freigiebt. Zugleich schliesst das rechte Bügelende *N* die in das zugehörige Quecksilbernäpfchen mündende Abblendungs- . . . . . Bahn. Die nächste Secundenschwingung des Metronompendels schliesst den primären Strom *M E* wieder, der Schliessungs-Inductionsstrom fliesst durch die kurze Abblendungs- . . . . . Bahn

1) Aus diesem Gange der Ermüdungslinie beim belasteten Muskel beweist Kronecker mit grosser Schärfe die Unveränderlichkeit der Elasticität bei der Muskelzusammenziehung. S. Monatsberichte d. Berl. Akad. d. Wiss. 1870 und Arb. d. Phys. Anst. 1871 S. 239—245.

2) Die etwas abweichende Unterbrechungseinrichtung von Tiegel ist in seiner Abhandlung beschrieben und abgebildet.

p N p', bald hebt sich der Bügel *N*, der Sperrapparat *K* kann wieder die Rotation der Kymographion-Trommel hemmen, Bügel *n* führt den *e* Strom wieder durch die . — . — . — Bahn zum Magneten *W*, dieser fängt das Pendel des Commutators wieder auf und hält es, bis der nächste bügelhebende Secundenschlag des Metronompendels einen neuen Turnus einleitet."

Die belehrende Demonstration des Ermüdungsgesetzes kann mit Hilfe einfacherer Vorrichtungen ausgeführt werden, so z. B. kann die rhythmische Hemmung der Trommelbewegung weggelassen werden und statt dessen die ganz langsame Rotation des Baltzar'schen Trommeluhrwerks (Taf. XIX) benutzt worden. Auch die Vorrichtungen von Marey zur Aufzeichnung der imbrication latérale (s. vorigen Paragraph) kann bei passender Anordnung zu diesem Zwecke genügen.

Der Muskel darf bei diesem Versuch nur etwa von 5 Grm. belastet werden; die übrigen Gewichte 20—30 Gramm (nicht mehr als 50, welche dem Gewichte des Frosches gleichen) dürfen nur als Ueberlastung benutzt werden, d. h. sie dürfen während der Ruhe des Muskels ihn nicht dehnen. Man erreicht dies einfach dadurch, dass man diese Gewichte unterstützt.

Ein für Ermüdungsversuche am Frosche wichtiges methodisches Hilfsmittel ist die Durchleitung von Lösungen durch den Muskel, welche die Ermüdung des Muskels aufzuheben oder zu vermindern gestatten, wie arterielles Blut (von Kaninchen), 0,5 procentige Kochsalzlösungen mit Zusätzen geringer Mengen (0,01%) übermangansauren Kali's u. s. w.

Der von Kronecker dafür benutzte Durchleitungsapparat, nach Art der gewöhnlich im Ludwig'schen Laboratorium benutzten Durchströmungsapparate hergerichtet (s. Cap. 1 § VI) ist auf Taf. LIV Fig. 1 abgebildet. Seine Beschreibung wollen wir mit Kronecker's Worten folgen lassen.

„Als Träger des Gefässsystems dient ein Eisengestell, an welchem die einzelnen Arme mit den daran festgeklammerten Glasgefässen und Röhren verdrehbar und verschiebbar sind. Das eiförmige Gefäss *a* ist zum Theil mit Quecksilber gefüllt, welches durch einen Kautschukschlauch mit dem Quecksilber in dem tiefer stehenden Gefässe *b* communicirt und aus diesem die Luft unter einem Drucke, welchen der Quecksilberstand mit Manometer anzeigt, gegen das kleinere Eierpaar *c d* hindrängt. Diese Gefässe *c* und *d* werden vor Beginn des Versuchs mit zwei zur Transfusion bestimmten Flüssigkeiten (z. B. Blut und Kochsalzlösung) gefüllt."

„Die Glashähne *e f* sperren die eine oder andere Flüssigkeit von der Glascanüle *g* ab, welche in die Aorta des Froschpräparates mündet. Die unter einem mässigen Drucke (15 bis 40 Mm. Quecksilber) injicirten Flüssigkeiten werden aus der Bauchvene mittelst einer Glascanüle in einen graduirten Cylinder geleitet."

Die Herstellung des Froschpräparates sowie die Ausführung der Durchwaschung oder Durchströmung der Extremitäten geschieht nach Kronecker folgendermaassen:

„Das Froschpräparat ist in folgender Weise hergerichtet worden. Es wurde das Thier decapitirt, unterhalb des Brustbeins durch einen breiten Querschnitt die Bauchhöhle geöffnet, durch zwei in den Axillarlinien bis nahe zum Becken geführte Scheerenschnitte ein breiter, alle Bauchdecken entfaltender Lappen gebildet und nach unten zurückgeschlagen, darauf eine Massen-Ligatur unterhalb der

Nieren um das Rectum und alle dort verlaufenden Blutgefässe der Eingeweide, mit Ausschluss der Aorta abdominalis, gelegt, oberhalb der Ligatur das Eingeweide-Bündel durchtrennt, mit Schonung der Aorta das Thier ausgeweidet und der Schultergürtel sammt vorderen Extremitäten und dem Thorax durch ein paar Schnitte entfernt, so dass nur der Rücken, die Schenkel und der breite Bauch-Haut-Lappen im Zusammenhang bleiben."

„Die beiden Schenkel wurden in folgender Weise vorbereitet. Ein Längsschnitt in die Haut auf der Streckseite jedes Knies geführt, legte die Sehne des M. triceps femoris (Ecker) frei; diese wurde von der Tibia und den Nachbarsehnen lospräparirt und der gemeinsame Muskel-Bauch nach oben hin ein wenig von dem Femur gelöst. Eine Massen-Ligatur um das Kniegelenkende des Os femoris schnürte alle Weichgebilde, mit Ausschluss des M. triceps femoris, so dass nunmehr der Unterschenkel abgetrennt werden konnte, ohne dass bei bestehender Circulation Flüssigkeit in irgend erheblicher Menge an der Ligaturstelle austrat."

„In die Aorta abdominalis wurde nun eine feine Glascanüle nach dem peripherischen Ende hin eingeführt und an die Wirbelsäule durch Fadenschlingen wohl befestigt. In die grosse Mittelvene des Bauchlappens wurde gleichfalls, peripher gerichtet, eine Glascanüle gebunden, nachdem zwei seitlich im Lappen verlaufende Venen unterbunden worden waren. In das Kautschuk-Ansatzrohr der Aorten-Canüle wurde hierauf eine 0,5—0,75procentige Kochsalzlösung enthaltende Spritze eingesetzt und bei geringem Drucke das Schenkelpaar ausgewaschen, so dass erst Blut und blutige Kochsalzlösung, später wasserhelle Flüssigkeit tropfenweise aus der Venencanüle drang."

Bei den bisher beschriebenen Methoden wird der Nutzeffect der Arbeit, welche der Muskel bei seiner Contraction durch Hebung eines Gewichts erzeugt, gemessen. Etwas Anderes ist es, die Kraft zu ermitteln, welche der Muskel bei maximaler Erregung zu entwickeln vermag. Die erste Messung dieser Art ist auf eine sehr sinnreiche Weise von Schwann ausgeführt worden. Seine Messungsweise gestattete ihm gleichzeitig die Veränderung dieser Kraft während der Zusammenziehung selbst zu verfolgen. Wir lassen hier diesen classischen Versuch von Schwann mit den Worten, mit dem er von Johannes Müller zuerst beschrieben wurde, folgen:

„Ein Frosch wird auf einem Brettchen mit seinem Oberschenkel horizontal befestigt, der Unterschenkel senkrecht in die Höhe gerichtet und der Fuss wieder horizontal gebogen. Beide werden in dieser Lage unbeweglich festgebunden. Dann wird der N. ischiadicus hoch am Oberschenkel abgeschnitten und mit möglichster Schonung der grossen Gefässe bis zum Unterschenkel herauspräparirt, so dass er seitwärts heraushängt und hier über zwei Anfangs horizontal laufende, dann aber senkrecht sich hinunter biegende und das Brettchen durchbohrende Drähte gelegt werden kann. Von diesen unter sich nicht zusammenhängenden Drähten geht der eine zu dem einen Pol eines galvanischen Plattenpaares, der andere kann, durch leichtes Andrücken eines von dem andern Pol kommenden Drahtes, mit diesem in Verbindung gesetzt werden. Die Haut am Unterschenkel des Frosches bleibt unverletzt, bis auf einen kleinen Einschnitt in der Ferse durch den die Sehne des M. gastrocnemius, nachdem sie am Fusse abgeschnitten worden, geleitet wird. An diese Sehne wird ein Faden gebunden, der senkrecht in die Höhe geht, zu dem

einen Arm einer darüber hängenden Wage, wo er festgebunden wird. An dem andern Arm der Wage hängt eine Wagschale. Der erste Arm, mit dem der Muskel in Verbindung steht, wird durch Anbinden eines geraden Drahtes um das Sechsfache verlängert, damit eine kleine Contraction des Muskels eine Bewegung dieses Wagebalkens hervorbringt. Die Wagschale wird nun so beschwert, dass sie ein kleines Uebergewicht über den anderen Wagebalken hat. Das Ende dieses verlängerten Wagebalkens wird durch ein horizontales Stäbchen, gegen das es nach oben drückt, so niedergehalten, dass sich der Wagebalken nach unten, aber nicht nach oben bewegen kann. Dieses Stäbchen kann vermittelst einer eigenen Vorrichtung sehr genau höher und niedriger geschraubt werden und die Grösse dieser Veränderung kann an einer Scala abgelesen werden. Ist nun der Apparat so vorgerichtet, dass der lange Wagebalken etwas höher steht, als in der horizontalen Richtung, ist ferner der den Muskel mit demselben verbindende Faden so gewählt worden, dass er in dieser Stellung ein wenig gespannt wird, so lässt man den Reiz eines Plattenpaares von 1 Quadratzoll Oberfläche auf den Ischiadicus wirken. Durch die Zusammenziehung des Muskels wird der Wagebalken nach unten gezogen. Man schraubt nun das horizontale Stäbchen so tief, dass der Muskel bei seiner Contraction den Wagebalken nur um ein Minimum von dem Stäbchen weiter nach unten zu ziehen vermag. Das geringe Uebergewicht der Wagschale = 0 betrachtet, ist dies der stärkste Grad der Zusammenziehung. Schwann beobachtete nun, dass, wenn er jetzt Gewichte auf die Wagschale legte, der Wagbalken nicht mehr bewegt wurde. Auf diesem Punkte der Contraction war also die Kraft des Muskels = 0. Wurde aber das horizontale Stäbchen etwas in die Höhe geschraubt, so liess sich wieder ein Punkt finden, wo der Wagebalken eben bewegt wurde. Bei diesem geringen Grade der Contraction war also die Kraft des Muskels gleich dem aufgelegten Gewichte. Das Quantum der Verkürzung aber war der sechste Theil von dem, um was das Stäbchen höher geschraubt worden war. Wurde nun das Doppelte des vorigen Gewichts aufgelegt, so musste das Stäbchen noch höher geschraubt werden, wenn der Muskel den Wagebalken bewegen sollte. Auf diesem Punkte war dann die Kraft des Muskels doppelt so gross, als im vorigen Fall, und der Grad der Verkürzung konnte wieder an der Scala des Messinstruments gefunden werden. So liess sich also die durch den Muskel bei einem bestimmten Reize sich äussernde Kraft mit dem Grade der Verkürzung desselben vergleichen. Schwann beobachtete noch die Vorsicht, dass er die Reize in gleichen Zwischenzeiten einwirken liess und dass er nach jedem Cyclus von Versuchen nachher wieder prüfte, ob sich der Muskel ohne Gewicht wieder auf denselben Punkt, wie vorher, zusammenzog, oder dass er den Versuch in umgekehrter Ordnung wiederholte, z. B. erst den Stand des Messinstruments bei 0, dann bei 50, dann bei 100, dann wieder bei 50 und zuletzt bei 0 Grm. Gewicht beobachtete und zwischen den bei demselben Gewicht sich ergebenden Zahlen das Mittel nahm."

Das Herunterschrauben des horizontalen Astes war in diesem Versuch also gleichbedeutend mit einer Entlastung des Muskels, indem dabei der belastete Balken der Wage nach oben bewegt wurde. Der Muskel konnte daher erst bei einem bestimmten Grad der Zusammenziehung an dem verlängerten Balken angreifen und den belasteten Balken in die Höhe heben.

Indem Schwann jedesmal die grösste Belastung ermittelte, welche der Muskel noch um ein Minimum zu heben vermochte, bestimmte er die Stärke der Ueberlastung, welcher bei den verschiedenen Stufen der Contraction die Muskelkraft das Gleichgewicht zu halten vermag.

Diese Versuche ergaben bekanntlich, dass die Kraft des Muskels im Verlaufe der Contraction immer mehr abnimmt und beim Höhepunkte der Contraction gleich Null ist. Ein sich contrahirender Muskel kann sich also nur bis zu dem Grade verkürzen, bis das von ihm gehobene Gewicht den ihm innewohnenden Kräften gerade das Gleichgewicht hält. Da im Beginne der Contraction die Kraft des Muskels nach Schwann am grössten ist, so folgt daraus, dass als Maass für die grösste Kraft, die ein Muskel zu entwickeln vermag, dasjenige Gewicht gelten kann, welches er bei stärkster Erregung gerade nicht zu heben vermag.

Da die Kraft des Muskels von der Anzahl seiner Fasern, also von seinem Querschnitte direct abhängig ist, so muss man dieses Gewicht auf den Querschnitt reduciren, um einen Ausdruck für die absolute Kraft eines gegebenen Muskels zu finden. Man reducirt nach Weber's Vorgang die Gewichte auf 1 Quadratcentimeter Querschnitt.

Die Methoden zur Ermittelung dieser absoluten Muskelkraft können im Speciellen verschieden gewählt werden. Valentin versuchte diese Kraft bei Froschmuskeln mittelst eines Federdynamometers zu messen, indem er ihre Sehnen durch Fäden mit diesem Instrumente verband. E. Weber bestimmte diese Kraft für den Hyoglossus, den er auf die beschriebene Weise befestigte und das Gewicht ermittelte, bei welchem der thätige Muskel sich bis zur Länge des ruhenden unbelasteten Muskels verkürzte, oder, was dasselbe sagen will, den Contractionskräften des Muskels gerade das Gleichgewicht zu halten vermochte.[1])

Den Querschnitt des Muskels bestimmte er, indem er das Volumen des Muskels durch seine Länge dividirte.[2])

In ähnlicher Weise ist die absolute Muskelkraft auch von anderen Beobachtern gemessen worden.

Ein anderes, zweckmässigeres Verfahren, diese absolute Muskelkraft zu bestimmen, hat Rosenthal gewählt. Er bediente sich dabei der schon von Schwann benutzten Ueberlastungsmethode. Als Messobject verwendete er den Adductor mag. mit dem Semimembranosus. Um auch die minimalste Erhebung des Gewichts noch constatiren zu können, verband Rosenthal diesen Muskel mit dem Hebel des mehrmals erwähnten du Bois'schen Froschunterbrechers.[3])

---

1) Im Sinne der Weber'schen Theorie wäre es zweckmässiger, die absolute Kraft dadurch zu messen, dass man das Gewicht aufsucht, welches den maximal contrahirten Muskel bis zu seiner Ruhelänge zu dehnen vermag. Diese Methode wäre aber in der Ausführung durch mehrere Mängel behaftet, in Folge welcher Weber auf ihre Anwendung verzichtete. Das auf den folgenden Seiten beschriebene Fick'sche Verfahren bezweckt im Grunde mit verbesserten und von diesen Mängeln freien Hilfsmitteln diese Messungsmethode zu verwerthen.

2) Das Volumen des Muskels ermittelt man durch Division seines Gewichts durch sein specifisches Gewicht.

3) Dieser Hebel ist nach Analogie des am Helmholtz'schen Myographion angebrachten Schreibhebels gebaut. Der Froschmuskel wird auch auf dieselbe Weise wie bei Helmholtz an diesem Hebel fixirt. Bei der geringsten Erhebung löst dieser Hebel einen Contact, was mit Hilfe einer elektrischen Glocke durch einen Schlag sofort angezeigt wird.

Denselben Hebel des Froschunterbrechers von du Bois-Reymond benutzte jüngstens Hermann zur Wiederholung der eben notirten Schwann'schen Kräftemessung des sich zusammenziehenden Muskels. Der Hebel des Unterbrechers wurde verlängert und äquilibrirt.

Auf die Wagschale war ein Gewicht von 10 Grm. aufgelegt, welches dann in Intervallen von 5 Grm. allmählich vermehrt wurde.

Damit der Muskel an den Hebel erst angreift, nachdem er um eine gewisse Strecke verkürzt ist, wurde jedesmal die Klemmpincette, welche das obere Ende des Muskels trägt, nach unten geschraubt. Die Grösse der Senkung konnte an einer Scala abgelesen werden, die an der Säule, an welcher die Pincette befestigt ist, angebracht wurde. Auch dabei konnte man also den Muskel an den Hebel erst angreifen lassen, nachdem er sich bis zu einem gewissen Grade schon zusammengezogen hat. Der Muskel wurde durch einzelne Maximalreize gereizt. Nach Erreichung der tiefsten Senkung wurde in derselben Weise, wie bei Schwann, der Einfluss der Ermüdung eliminirt.

Indem Hermann die Kraft, welche der Muskel bei einem gewissen Grad der Zusammenziehung (z. B. Länge L) noch auszuüben vermag, als identisch mit dem Gewichte betrachtet, mit welchem belastet der Muskel sich bis zu demselben Grade (L) zusammenziehen würde, und mit dem, welches, an den ad maximum contrahirten Muskel gehängt, ihn bis zu dieser Länge (L) dehnen würde, benutzte er die erhaltenen Werthe, um die Dehnungscurve des ad maximum contrahirten Muskels zu construiren.

Fick suchte zu ähnlichen Zwecken zu ermitteln, welche Kräfte der Muskel in den verschiedenen Momenten der Zuckung zu äussern vermag, wenn er während des ganzen Ablaufs des thätigen Zustandes auf seine natürliche Länge gedehnt bleibt. Er benutzte dabei folgendes sinnreiche Verfahren: An einem Myographion, das ganz dem Marey'schen auf Taf. LI Fig. 2 abgebildeten analog eingerichtet ist, befestigte er den Muskel anstatt an dem Knopfe F, an dem Faden G der Drehaxe. Bei seiner Contraction wirkte also der Muskel auf den Hebel, ganz, wie es gewöhnlich das aufgelegte Gewicht zu thun pflegt.

Auf dem Punkte F, wo gewöhnlich der Muskel angreift, liess Fick einen elastischen Körper dem Zuge des Muskels entgegenwirken, dessen Spannung mit der Entfernung des Hebels von seiner ursprünglichen Lage wächst. Die Spannung dieses Körpers wurde so gewählt, dass sie schon bei geringen Excursionen des Hebels die Muskelkraft mehr als aufwiegt. Dies war leicht zu erreichen, da der Muskel auf einen Hebel von 2 Mm. (der Halbmesser des Stahlcylinders, welcher als Axe des Hebels dient) Länge, der elastische Körper dagegen auf einen Hebelarm von 40 bis 60 Mm. Länge wirkte (Abstand des Punktes F von der Drehaxe). Als solchen elastischen Körper benutzte Fick einen dünnen Glasstreifen, der mit dem Knopfe F durch einen Draht verbunden war und der bei der durch den Muskelzug erzeugten Bewegung des Hebels nach unten gebogen wurde. (Das Myographion war bei den Versuchen von Fick so aufgestellt, dass der Hebel sich in einer verticalen Ebene bewegte.)

Wurde vorher anstatt des Muskelzuges auf den Hebel der Zug von verschiedenen Gewichten ausgeübt und die Stellung des Hebels bei jedem Gewichte auf der berussten Fläche aufgezeichnet, so erfuhr man, wie gross der Zug auf den um

die Drehaxe geschlungenen Faden sein muss, um die Spannung des Glasstreifens so weit zu überwinden, dass die Zeichenfeder bis zu diesen Stellungen gelangt. Darauf wurde der Muskel an dem Faden befestigt, durch einen Inductionsschlag gereizt und die Curve von Neuem auf der berussten Fläche gezeichnet. Durch Vergleich der jetzigen Stellungen der Zeichenfeder mit den früher durch die Gewichte gegebenen, konnte die Spannung des Muskels in den verschiedenen Stadien der Zuckung gemessen werden. Da bei den grössten dabei erhaltenen Ausschlägen des Zeichenhebels nur $^1/_4$ Mm. Faden abgewickelt wurde, also der Muskel sich nur um $^1/_4$ Mm. seiner Länge verkürzt hatte, so nimmt Fick an, dass der Muskel während der ganzen Dauer der Zuckung seine natürliche Ruhelänge behalten hat. Die gemessenen Spannungen ergaben also nach Fick die Kräfte des verkürzten Muskels, während er auf seine natürliche Länge gedehnt bleibt. So sinnreich diese Methode, die Zuckungscurve von einem sich nicht zusammenziehenden Muskel zu erhalten, auch ist, so sind doch die mit ihr zu erlangenden Aufschlüsse nur mit Vorsicht zu gebrauchen. Im Grunde genommen zeichnet man dabei nur die Curve des durch starke Belastungen gedehnten Muskels; die Ordinaten der Curve geben in beträchtlich vergrössertem Maasstabe (im Verhältniss der Länge des zeichnenden Hebels zu der des Krafthebels) die Höhen, um welche der Muskel sich wirklich verkürzt hat, an. Die Curve unterscheidet sich also nur durch die Grösse der Dehnung von der Curve, welche man erhält, wenn der Muskel an den Punkt *F* angreift und das Gewicht an den Faden *G* angehängt ist und dem Zuge des Muskels entgegenwirkt.

Auch am menschlichen Muskel versuchte E. Weber die absolute Muskelkraft zu messen. Wegen der leichten Bestimmbarkeit der Hebelwirkungen wählte er zu diesen Messungen die Wadenmuskeln.

Steht man mit parallelen Füssen auf dem Boden und versucht es sich auf die Zehen oder vielmehr auf den Ballen zu heben, so heben dabei die Wadenmuskeln die auf die Axe des Fussgelenks im Sprungbeine drückende Last des Körpers in der Weise in die Höhe, dass sie den einarmigen Hebel des Fusses um die Axe des Zehengelenkes (im Köpfchen des Mittelfussknochens) als Hypomochlion drehen. Der Hebelarm der Muskeln geht von diesem letzteren Drehpunkte bis zum Ansatzpunkte der Wadenmuskeln, der Hebelarm der Körperlast geht von diesem Drehpunkte bis zur Axe des Fussgelenks im Sprungbeine. Die Abstände dieser drei Punkte, also die Längen dieser beiden Hebel misst man am lebendigen Menschen mit ziemlicher Genauigkeit. Vergrössert man die Last des Körpers, z. B. durch über die Schulter gehängte Gewichte, so weit, dass die Wadenmuskeln die Ferse gerade nicht mehr vom Boden abzulösen vermögen, so hält der Moment der Last (diese Last mit der Länge des Hebels multiplicirt) dem Moment der Muskelkraft gerade das Gleichgewicht. Da der Hebel der Last (vom Drehpunkte der Zehe bis zur Axe des Fussgelenks) kürzer ist, als der der Muskelkraft (von diesem Drehpunkte bis zum Ansatze der Achillessehne), so muss man das Moment der Last durch den Hebel der Kraft dividiren.

Die Messungen wurden von E. Weber in folgender Weise ausgeführt:

Der Beobachter stellt sich auf eine Unterlage, auf der ein Waagebalken aufgelegt ist. Der Drehpunkt des Waagebalkens befindet sich etwas vor dem Beobachter, dem der Waagebalken zwischen den Füssen zu liegen kommt. In der

Linie, welche die beiden Zehen verbindet, befindet sich am Balken ein Haken, der durch eine Schnur an dem Gürtel des Beobachters befestigt ist. Der Zug, welchen der Beobachter durch diesen Haken auf den Waagebalken auszuüben vermag, wird durch ein Laufgewicht von 52 Kil. äquilibrirt, das am Waagebalken (hinter dem Beobachter) angebracht ist. Versucht nun der Beobachter durch Zug an dem Haken den Waagebalken bei gestreckten Knieen durch Streckung im Fussgelenke zu heben, so kann man durch Bewegung des Laufgewichts die Stärke dieses Zuges so weit äquilibriren, dass die geringste Vermehrung der Last die Hebung unmöglich macht.

Das äquilibrirende Gewicht P multiplicirt mit dem Hebel a, der dem Abstande des Drehpunktes von dem Gewichte, und dividirt durch den Hebel b, der dem Abstande des Drehpunktes von dem Angriffspunkte der Zugkraft entspricht (der Befestigungspunkt des Hakens), plus das Gewicht des Balkens c reducirt auf den Hebel b giebt die Zugkraft $\left(x = P \cdot \frac{a}{b} + \frac{c}{b}\right)$. Addirt man zu dieser Grösse das Gewicht d der Person, der Kleider u. s. w., so erhält man die Gesammtlast z, welche auf das Fussgelenk drückt und den Wadenmuskeln das Gleichgewicht hält ($z = x + d$).

Wird dieses Gewicht z multiplicirt mit der Hebellänge e der Körperlast und dividirt durch die Hebellänge f der Muskelkraft, so hat man die Kraft y, welche die Wadenmuskeln beider Körperhälften ausgeübt haben:

$$y = z \cdot \frac{e}{f}.$$ [1])

Um die absolute Muskelkraft aus dieser Grösse zu bestimmen, muss man sie noch durch den Querschnitt der Wadenmuskeln dividiren. Um diesen annähernd zu erhalten, wurde das Mittel aus mehreren an entsprechenden Muskeln an Leichnamen gemachten Messungen genommen und durch dieselben das Mittel der bei mehreren Individuen gemachten Kraftmessung dividirt.

Wie Koster angiebt, soll E. Weber den Querschnitt der Muskeln bedeutend zu hoch genommen haben, daher sein Kraftmaass (1 Kil. auf 1 Quadratcentimeter) zu gering ausgefallen sein. Koster wiederholte die Weber'schen Versuche in ähnlicher Weise an mehreren Personen, denen die Lasten auf die Schultern gehängt wurden.

Henke und Knorz machten eine grosse Anzahl ähnlicher Kraftmessungen am Menschen an den Beugemuskeln des Unterarms und an den Streckmuskeln des Fusses. Die bedeutend höheren Werthe, als die von Weber, welche sie für die Muskelkraft erhielten, rühren nach ihnen daher, dass Weber einen Irrthum in der Berechnung der Länge der Hebelarme begangen haben soll.[2])

Die zweitwichtigste Leistung des Muskels, welche mit seiner mechanischen Leistung in innigster Beziehung steht, ist die Bildung von Wärme. Die Me-

---

1) Das Nähere siehe Ed. Weber l. c. S. 88 u. f.

2) Der wahre Grund der geringen Werthe, welche Weber erhalten hat, wird wohl darin liegen, dass die Wadenmuskeln, an denen die Kraftmessungen vorgenommen wurden, viel dünner als die waren, die zu den Querschnittsmessungen benutzt wurden. Die Nenner sind also in dem Bruch (Gewicht durch Querschnitt) zu hoch genommen.

thoden zur Beobachtung dieser Wärmebildung, zuerst von Becquerel und Helmholtz angegeben und dann besonders durch Heidenhain's Bemühungen zu einem höheren Grad der Genauigkeit ausgebildet, gestatten, die minimalsten Temperaturveränderungen am Muskel zu verfolgen.

Bei dem geringen Grade der Temperaturschwankungen, mit denen man es bei den Muskeln zu thun hat, lassen sie sich nur mit Hilfe der feinsten Methode, nämlich mit Hilfe der Ablenkungen der magnetischen Nadel durch Erzeugung von Thermoströmen, genau messen. Die in der ersten Abtheilung dieses Capitels beschriebenen Galvanometer können für thermische Messungen eingerichtet werden, wenn man ihre zu grosse Widerstände bietenden Drahtwindungen durch 50—100 Windungen eines dickeren Kupferdrahtes ersetzt. Es ist an betreffender Stelle angegeben worden, dass die Bussolen von Wiedemann, und Meissner-Meyerstein zu diesem Zwecke mit passenden Drahtrollen versehen sind.

Wird der Thermomultiplicator zu Temperaturbestimmungen verwendet, so muss man ihn vorher empirisch graduiren. Man führt die Graduirung aus, indem man die eine Löthstelle eines Thermoelements auf einer constanten Temperatur, am besten durch Eintauchen in Eiswasser, erhält, während man die andere Löthstelle allmählich verschiedenen Temperaturen aussetzt. Die beobachteten Ablenkungen der Nadel werden dann zur Bildung einer Tabelle benutzt, welche in Graden der Kreistheilung die entsprechenden Temperaturdifferenzen ausdrücken.

Die Spiegelbussolen haben jetzt auch bei thermoelektrischen Messungen die Multiplicatoren aus der physiologischen Methodik allmählich verdrängt. Auch hier verdanken sie ihre Bevorzugung hauptsächlich dem Umstande, dass bei ihnen die mit dem Fernrohr ablesbaren Ablenkungen des Magnetes den auf sie wirkenden Stromesstärken proportional sind. In den bei physiologischen Beobachtungen ohne Schwierigkeit inne zu haltenden Grenzen der Stromesstärken bleibt diese Proportionalität immer bestehen. Man bestimmt daher die Ablenkung nur für eine Temperaturdifferenz und kann bei späteren Ablesungen aus der Stärke der Ablenkungen die gesuchte Differenz finden.

(Um bei seinen Messungen die Empfindlichkeit der Bussle zu prüfen und gleichzeitig die Scalentheile auf Grade einer Celsius'schen Thermometerscala zu reduciren, befestigte Heidenhain die Enden seiner Thermosäule wasserdicht in Glascylinder, die zu diesen Zwecken mit viereckigen Löchern versehen wurden. In diese mit Wasser gefüllten Röhren wurden Geissler'sche Thermometer, in $0{,}02^0$ C. getheilt, neben der Thermosäule aufgehängt. Andererseits wurde die Thermosäule mit der Bussole verbunden; die Magnetnadel zeigte constante Ablenkung, sobald das Wasser in den Gefässen durch Rühren in dauernde Bewegung versetzt wurde. Durch gleichzeitige Beobachtung der Thermometer wurde constatirt, dass bei einem Abstande des Fernrohrs von der Bussole von 2650 Mm. ein Grad der in 1000 Theile getheilten Scala einer Temperaturdifferenz der Löthstellen von $0{,}00049$—$1{,}00080^0$ C. entsprach.)

Schwieriger als die Herstellung eines Galvanometers, der die feinsten Temperaturschwankungen anzugeben im Stande wäre, ist es, passende Einrichtungen den Thermosäulen zu geben, die ohne Beschädigung der thierischen Theile diesen Schwankungen gestatten sollen, sich auf der Säule zu äussern. Becquerel und Brechet, denen das grosse Verdienst zukommt, zuerst mittelst des Thermomulti-

plicators Messungen der Muskeltemperatur während der Thätigkeit gemacht zu haben, benutzten zu diesem Zweck thermoelektrische Nadeln aus Eisen und Kupfer. Eine dieser Nadeln wurde in den Biceps brachii eines Menschen eingestochen, während eine andere in einem Luftbehälter von 36° C. befestigt wurde. Bei Beugungen des Armes erhielten sie Ablenkungen der Nadel bis zu 1° C.

Helmholtz bediente sich bei seinen berühmten Versuchen über die Wärmebildung bei der Contraction ausgeschnittener und der Circulation entzogener Froschmuskeln eigenthümlich gestalteter Neusilbereisenelemente. Dieselben hatten die Form bandartiger Streifen, was ihren Widerstand verringerte und sie ausserdem bequem in faserige Gewebe wie der Muskel einzustossen gestattete.

Der Froschschenkel, in welchen sie eingestossen wurden, stand nur noch durch die Nerven mit dem übrigen Körper in Verbindung. Tetanisirt wurde der Schenkel vom Rückenmarke aus.

Zur Beobachtung der Temperaturschwankung wurde ein sehr empfindlicher Multiplicator gewählt (0,0074° C. erzeugten eine Nadelablenkung von einem Grade).

Die sowohl durch die Fragestellung, als durch ihre Mannigfaltigkeit bemerkenswerthen Untersuchungen von Béclard wurden anfangs auch an ausgeschnittenen Froschschenkeln angestellt. Die nadelförmigen Thermoelemente aus Kupfer und Eisen erhielten die Gestalt von Pfeilen, um ihr Ausgleiten aus den Muskeln bei deren Zusammenziehung zu verhüten. Um möglichst kleine Temperaturdifferenzen beobachten zu können, steckte Béclard die eine Nadel in die eine vom Rumpfe getrennte hintere Extremität[1]), während die andere Nadel in die zweite zur Prüfung bestimmte Extremität eingeführt wurde. Dieser letztere Schenkel wurde vom Rückenmarke aus tetanisirt.

So wichtig die mit Hilfe solcher Nadelelemente schon gewonnenen Aufschlüsse auch sind, so ist doch deren Verwendung mit einigen Uebelständen verknüpft. Obenan stehen deren Verschiebungen während der Contraction des Muskels, wodurch die Nadeln mit anders temperirten Stellen in Berührung kommen. Dies wird besonders noch unbequem, wenn es darauf ankommt, die Muskeln bei verschiedenen Belastungen arbeiten zu lassen, wo die Nadeln den grösseren Excursionen des gedehnten Muskels genau folgen müssen.

Um dies in bequemer Weise zu gestatten, haben Thiry und Meyerstein folgenden Kunstgriff ersonnen. Die aus zwei Neusilber-Eisenelementen bestehende Thermosäule wurde in ein Holzkästchen eingeschlossen; nur deren zugespitzten Löthstellen ragten hervor. Die in der Mitte der Säule befindlichen Enden der Thermoelemente setzten sich rechtwinklig in zwei Messingstäbchen fort, die, in cylindrischen Axenlagern drehbar, eine Drehaxe für einen Messingbalken von der Form eines Waagebalkens bildeten. Die als Axenlager dienenden Messingsäulen waren mit den Leitungsdrähten der Meissner-Meyerstein'schen Bussole verknüpft.

---

1) Durch Einführung der beiden Nadeln in zwei annähernd gleichtemperirte Körper ist die Möglichkeit gewonnen, viel feinere Schwankungen zu beobachten, als wenn die Temperaturdifferenz sehr gross ist. Bei allen Einführungen von Thermonadeln in Muskeln müssen die Nadeln gut gefirnisst werden, um durch Berührung mit den thierischen Theilen keine Veranlassung zur Strombildung zu geben.

Die in den Muskeln eingestochenen zugespitzten Löthstellen hinderten nicht im Mindesten deren freie Beweglichkeit, die Thermosäulen drehten sich dabei um die besagte Axe.

Auch in dieser Form bietet die Thermosäule noch manche Nachtheile, wie die nicht zu umgehende Verletzung des Muskels bei Gebrauch nadelförmiger Elemente, die Unmöglicheit, die empfindlichsten Wismuth-Antimonketten wegen ihrer grossen Zerbrechlichkeit in die Muskel zu stechen u. s. w.

Von diesen Mängeln ist die Thermosäule frei, deren sich Heidenhain bei seinen Untersuchungen bedient hat. Diese Säule ist auf Taf. IV Fig. 15, 15a und 15b dargestellt.

Auf die Nadelform verzichtend, benutzte Heidenhain eine Wismuth-Antimonkette, wie sie gewöhnlich bei Versuchen über strahlende Wärme zur Verwendung kommt. Sie besteht aus sechzehn Elementen, deren rechteckiger Querschnitt (Fig. 15a) wasserdicht lackirt ist. Die in einem Korkrahmen ruhende Säule ist mittelst des sie umfassenden Messingringes durch eine Schraube an den Rahmen *c* befestigt. Zwei Drähte *g* und *h*, durch Schräubchen an diesen Ring festgeklemmt, sind einerseits mit der Thermosäule, andererseits mit den Quecksilbernäpfen verbunden. Das Hebelwerk *c* und *d* hat die Bestimmung, die Thermosäule den Bewegungen des Muskels leicht folgen und dem verschieden belasteten Muskel mit annähernd gleicher Kraft anliegen zu lassen. Dies Hebelwerk besteht aus zwei übereinander gestellten Parallelepipedons *c* und *d*. Das erste von ihnen wird bei der Verdickung des Muskels mit Leichtigkeit in horizontaler Richtung von links nach rechts bewegt und bei der Abnahme dieser Verdickung in umgekehrter Richtung von der auf seiner Hinterfläche sichtbaren Feder nebst Schraube zurückgeführt. Das untere Parallelepipedon *d* dient dazu, um auf eine aus der Zeichnung ohne Weiteres verständliche Weise dem oberen eine leichte Beweglichkeit in verticaler Richtung zu gestatten. Das ganze System wird durch das Laufgewicht *c* äquilibrirt.

Der Gastrocnemius *a* wird mit seiner Tibialfläche an die eine Seite der Thermosäule angelegt, während die andere von einem Stückchen Muskelfleisch bedeckt wird.[1]) Oben ist der Muskel durch das mit ihm ausgeschnittene Stück des Os femoris in die Klemmpincette des gewöhnlichen Myographions festgeklemmt. An die Schnur, die durch die Achillessehne geht, wird entweder ein kleines Gewichtchen oder der Rahmen eines Myographions befestigt, wenn die Muskelzuckungen auch graphisch verzeichnet werden sollen.

Ein wichtiger, hierbei keinesfalls zu vernachlässigender Kunstgriff, um zu grosse Verschiebungen des Muskels auf der Fläche der Säule und so etwaige Wärmebildung durch Reibung zu vermeiden, besteht darin, durch eine feine Nadel den Muskel an seinem unteren Rande an dem Korkrahmen zu fixiren. Soll der Muskelnerv erregt werden, so präparirt man ihn mit dem Gastrocnemius heraus und legt ihn auf zwei passend geformte unpolarisirbare Elektroden etwa von der Gestalt der Thonstiefel auf.

Die durch Glasröhren isolirten Drähte *i* und *k* verbinden die Quecksilbernäpfe *f*, *f* mit der Bussole. Auf das Grundbrett, auf dem die ganze beschriebene Vor-

1) Eine nicht zu vernachlässigende Maassregel.

richtung ruht, wird zum Schutz der thierischen Theile vor Verdunstung ein Glaskasten aufgestellt; durch die bekannten Mittel wird die Luft in diesem Kasten feucht erhalten.

Der bedeutendste Vortheil dieser Thermosäule besteht in ihrer ausserordentlichen Empfindlichkeit (s. o.). Sie gestattet, die Temperaturerhöhungen bei jeder einzelnen Zuckung zu constatiren, während die früheren Elemente dies nur beim Tetanus zuliessen.

So vorzüglich diese Thermosäule aber auch ist, so muss man bei ihrer Benutzung die Möglichkeit zweier Fehlerquellen immer im Auge behalten. Die eine wird dadurch gegeben, dass bei der Contraction des Muskels unvermeidlich neue Muskelstellen zur Berührung mit der Fläche der Thermosäule kommen, die nicht immer genau dieselbe Temperatur wie die früher anliegenden zu haben brauchen. Der dagegen von Heidenhain eingeführte Schutz durch den Korkrahmen ist nicht ganz ausreichend. Wichtiger ist die zweite Fehlerquelle, durch die Reibung an der Thermosäule entstehend. Bei der grossen Empfindlichkeit dieser Säule genügt es, mit einer Federspule 5 bis 6 Mal die Fläche zu bestreichen, um eine kleine Ablenkung zu erzeugen. Viel stärker muss aber die Reibung des Muskels an der Thermosäule wirken, besonders wenn eine Reihe einzelner Muskelzuckungen in schneller Aufeinanderfolge ausgeführt wird.

Abgesehen von der durch Helmholtz constatirten Wärmebildung bei der Contraction im blutleeren Muskel sind von den hier einschlagenden Untersuchungen die von Béclard angeregten über den Zusammenhang der Wärmebildung mit der Muskelarbeit[1]) die bei Weitem fruchtbringendsten geworden.

Die von Béclard gestellte Aufgabe bestand darin, am arbeitenden Muskel direct die Gültigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft zu beweisen. Als Mittel sollte die Prüfung dienen, ob beim gleich stark erregten Muskel die Wärmebildung grösser ist, wenn der Muskel an seiner Contraction verhindert wird (also keine mechanische Arbeit leistet), als wenn er bei der Contraction Gewichte hebt, also Arbeit leistet.

Die zahlreichen mit viel Scharfsinn angestellten Untersuchungen Béclard's wurden sowohl an Fröschen als an Menschen angestellt. Am Frosche wurden mit Hilfe der oben schon erwähnten Thermosäule die Versuche so ausgeführt, dass in Unterbrechungen von 30 Minuten der Froschschenkel während zehn Minuten jede Secunde durch einen Schliessungsschlag einer constanten Säule gereizt wurde. Das eine Mal war der Froschschenkel durch Festbinden an Contraction verhindert, das nächste Mal konnte er bei der Reizung ein an ihn angehängtes Gewicht in die Höhe heben. Beide Male wurde die Wärmebildung mit Hilfe der Thermosäule verglichen.

Zu den Versuchen am Menschen war der M. biceps brachii ausersehen, an den mit Hilfe einer Flanellbinde ein feines Thermometer festgebunden wurde. Durch Flexion des Vorderarmes wurde in dem einen Versuche ein Gewicht eine bestimmte Zeit auf derselben Höhe gehalten, ohne dass also dabei äussere Arbeit geleistet wurde, das andere Mal wurde dasselbe Gewicht in gleicher Zeit und auf die

1) Ueber die wichtigen Untersuchungen, welche über die Wärmeproduction des ganzen Organismus von Hirn eingeleitet wurden, siehe l. c.

gleiche Höhe rhythmisch gehoben. Die Senkungen des Gewichts übernahm dabei der andere Arm. Bei den am Frosche und am Menschen angestellten Versuchen war die Wärmeproduction grösser, wenn keine mechanische Arbeit geleistet wurde.

Diese Versuche Béclard's gaben zu einer grossen Untersuchungsreihe von Thiry, Heidenhain und seinen Schülern, Fick und Anderen Veranlassung, die alle darauf hinausgingen, directe Beweise für die Gültigkeit des Gesetzes der Erhaltung der Kraft bei der Arbeit der Muskeln zu gewinnen. Von diesen Untersuchungen soll nur das methodisch Wichtige hier berücksichtigt werden.

Heidenhain wollte diesen Beweis dadurch liefern, dass er dem Muskel verschieden grosse mechanische Leistungen aufgab und die bei jeder dieser Leistungen gebildete Wärme mass. Er ging dabei von der Voraussetzung aus, dass die Steigerung der Arbeitsleistung eine Herabsetzung der frei werdenden Wärmemenge nach sich ziehen müsse. Dieser Voraussetzung lag die Anschauung zu Grunde, dass der Muskel eine thermodynamische Maschine sei, in welcher die frei werdenden Spannkräfte zuerst in Wärme und dann in Arbeit verwandelt werden.[1]) Die mit grosser Sorgfalt ausgeführten zahlreichen Untersuchungen haben die methodische Unmöglichkeit erwiesen, auf diesem Wege die gestellte Aufgabe zu lösen. Heidenhain fand nämlich, dass mit der Steigerung der Belastung des Muskels auch die Intensität der chemischen Processe sich im Muskel bedeutend steigere.

1) Den directen Beweis für die Unrichtigkeit dieser Voraussetzung liefert Fick in geistreicher Weise durch folgende Ueberlegung: „Dies ist aber unmöglich, das lässt sich nach den allgemeinsten Grundsätzen der mechanischen Wärmetheorie apodiktisch behaupten. Clausius hat nämlich ganz allgemein bewiesen, dass bei keinem Processe in der Welt das, was er als eine negative Verwandlung bezeichnet, und dazu gehört Verwandlung von Wärme in Arbeit, geschehen könne, ohne dass zugleich eine mindestens äquivalente positive Verwandlung (Disgregationsvermehrung, Uebergang von Wärme aus einem warmen in einen kalten Körper) geschähe. Von irgend welcher erheblichen Disgregationsvermehrung kann aber bei der Muskelaction selbstverständlich keine Rede sein. Eine allfällige Verwandlung aus Wärme in Arbeit könnte also nur durch einen positiven Wärmefall „compensirt" sein, d. h. durch einen Uebergang von Wärme aus einem wärmeren in einen kälteren Körper. Ueber diesen Wärmefall gibt aber der von Clausius aufgestellte zweite Grundsatz der mechanischen Wärmetheorie quantitativen Aufschluss. Wenn nämlich eine Wärmemenge Q bei der absoluten Temperatur T in Arbeit verwandelt werden soll (ohne dass eine Disgregationsvermehrung statt hat), so muss eine Wärmemenge Q_1 aus einem wärmeren Körper von der Temperatur T_1 zu einem kälteren von der Temperatur T_2 übergeführt werden, so dass $\frac{Q_1}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1}$ grösser oder mindestens gleich $\frac{Q}{T}$ ist. Wir wissen nun aus den Betrachtungen von Helmholtz, dass etwa ein Fünftel der verbrauchten chemischen Spannkräfte im menschlichen Körper in Arbeit verwandelt werden kann und nur $^4/_5$ davon als Wärme auf andere Körper übertragen werden. Wäre also der thierische Körper eine thermodynamische Maschine, so müsste der Ungleichung $\frac{4}{T_2}Q - \frac{4}{T_1}Q > \frac{Q}{T}$ Genüge geschehen können. Den Grössen T und T_1 können wir höchstens den Werth $(273 + 40^0)$ geben und T_2 dürfte daher höchstens den Werth 250 haben, d. h. die nach aussen abgegebene Wärme müsste, bei der Verwandlung des anderen Theiles der Wärme in Arbeit, übergehen auf einen Körper, dessen Temperatur allerhöchstens — 23^0 wäre. Dies ist aber absurd, und wir müssen daher schliessen: Die Arbeit entsteht im Muskel nicht aus Wärme, es müssen vielmehr die chemischen Spannkräfte durch Vermittelung anderer (vielleicht elektrischer) Processe in Arbeit umgesetzt werden" (l. c. Seite 44).

Die Gleichung zwischen der Summe der frei werdenden Spannkräfte und der Summe der äusseren Arbeit nebst der frei werdenden Wärme konnte also deswegen nicht gefunden werden, weil bei jeder Vermehrung der Arbeit die Summe der frei werdenden Kräfte eine andere wird

Fick versuchte es, diese Aufgabe von einem anderen Standpunkte anzugreifen. Lässt man, wie es Heidenhain gethan hat, den Muskel ein Gewicht in die Höhe heben und wird das Gewicht an dem Muskel wieder auf seine frühere Lage heruntergebracht, so wird die von dem Muskel geleistete äussere Arbeit in Wärme umgewandelt. Misst man daher die Temperaturveränderung am Muskel, nachdem er das Gewicht nach unten gebracht hat, so erhält man nicht die neben der Arbeit gebildete Wärme, sondern man misst die ganze Summe der frei gewordenen Spannkräfte in Wärme umgewandelt. Wird bei einer Muskelcontraction durch die frei gewordenen Kräfte die Wärmemenge c und die Arbeit l geleistet, deren Wärmeäquivalent c' ist, so erhält man, wenn man die Wärme am Ablauf der Contraction misst, wenn also das Gewicht nach unten zurückgekehrt ist, nicht die Wärmemenge c, sondern $c + c'$. Um aus dieser die geleistete Arbeit berechnen zu können, müsste man die Wärmemenge c bestimmen können, die bis zur Contractionshöhe gebildet worden ist, und dieses c von der erwähnten Summe abziehen. Die c nach dem mechanischen Wärmeäquivalent entsprechende mechanische Arbeit würde dann das Maass der vom Muskel durch das Heben des Gewichts geleisteten Arbeit liefern.[1])

Fick wählte daher bei seinen Untersuchungen eine andere Methode: Er liess den Muskel das eine Mal ein Gewicht in die Höhe heben und dann von diesem Gewichte belastet sich wieder ausdehnen, das andere Mal wurde der Muskel im Momente des Maximums der Contraction entlastet und dehnte sich unbelastet aus. Wurden die in beiden Fällen gebildeten Wärmemengen bestimmt, so musste im ersteren Falle eine grössere Menge erhalten werden. Denn bei der Senkung des Gewichts, wobei der Muskel sich bis zu seiner früheren Länge ausdehnt, wird die geleistete Arbeit in eine äquivalente Wärmemenge umgewandelt.

Da bei einzelnen Zuckungen zu geringe Wärmemengen entwickelt werden, die nur bei ganz ausserordentlicher Astasie genügend grosse Ausschläge der Nadel geben, so zog es Fick vor, einige Zuckungen unter denselben Bedingungen ausführen zu lassen und die ihnen entsprechenden Wärmemengen zu beobachten. Für diejenige Versuchsreihe, wo der Muskel oben entlastet wurde[2]) und unbelastet sich ausdehnen musste, war eine besondere Vorrichtung „der Arbeitsammler" construirt. Eine um eine horizontale Axe drehbare Messingscheibe trug auf ihrer Axe eine Rolle, über welche ein Gewicht aufgehängt war. Um dieselbe Axe war ein äquilibrirter Rahmen drehbar, der mit einem Hebel, welcher eine besondere Klemmsperrung für die Scheibe bildete, verbunden war. Diese Sperrung gestattete der Scheibe Drehungen nur nach einer Richtung.

Der Rand der Scheibe war in 36 Theile getheilt; ein Index, auf den 10 Grade aufgetragen wurden, stand diesem Rande gegenüber und gestattete so die Able-

1) Weitere Ausführungen über diese Beziehungen befinden sich in der Züricher Dissertation von Dufour. Siehe auch die Abhandlungen von Dupuy.

2) Solche Entlastungen des Muskels auf der Höhe der Zuckungen erzeugte schon früher Kronecker mittelst einer besonderen Pendelvorrichtung. (Dissertation 1863.)

sung von 360 Graden. Der Muskel zog bei seiner Zuckung an dem Rahmen, die Scheibe folgte ihm nach; da sie aber nur in einer Richtung drehbar war, so wurde der Muskel auf dem Maximum der Contraction von seiner Belastung befreit und musste unbelastet sich ausdehnen. (Die zur Belastung dienenden Gewichte waren auf eine Waagschale gelegt, welche an einem über die erwähnte Rolle gehenden Faden hing.[1]) Nachdem der Muskel mehrere Zuckungen ausgeführt hatte, wurde aus dem Winkel, um welchen sich die Scheibe dabei gedreht hat, bei bekanntem Umfang der Rolle und bekannter Grösse des Gewichts die während dieser Zuckungen geleistete Gesammtarbeit berechnet. Zur Messung der Wärmemengen wurde die Heidenhain'sche Thermosäule benutzt, deren Enden mit der Meissner'schen Bussole verknüpft waren.

Wie bei allen ähnlichen Messungen, wo die Säule nur an einer kleinen Strecke des Muskels anliegt, liefern die beobachteten Temperaturerhöhungen natürlich kein Maass für die absoluten Mengen der gebildeten Wärme. Streng genommen können die erhaltenen Ablesungen auch nicht als ganz genaues proportionales Maass für die frei werdende Wärme gelten. Bei der zulässigen Annahme, dass die Ablenkungen annähernd den proportionalen Werth der frei werdenden Wärmemenge geben, bewiesen die Fick'schen Versuche, dass der mit Belastung sich ausdehnende Muskel wirklich mehr Wärme bildet als der entlastete.

Aber auch diese Thatsache kann nicht als unumstösslicher Beweis für die Gültigkeit des Gesetzes der Erhaltung der Kraft bei der Muskelarbeit benutzt werden. Denn wie die Versuche von Landau und Pacully (unter Heidenhain's Leitung) ergeben haben, bildet der mit Belastung sich dehnende Muskel überhaupt mehr Wärme als der ohne Belastung sich dehnende. Eine Thatsache, die in vollkommener Uebereinstimmung ist mit der schon früher von den Schülern Heidenhain's, Hepner und Nigetiet nachgewiesenen Abhängigkeit des Stoffumsatzes im thätigen Muskel von seiner Spannung.[2]) Bei den geringen Kenntnissen, welche

1) Eine Abbildung dieses Arbeitsammlers befindet sich in der betreffenden Mittheilung von Fick.

2) Die Grösse des Stoffumsatzes im Muskel wird entweder mit Hilfe der von Helmholtz entdeckten Thatsache, dass mit der Zunahme der Arbeit der Alkoholextract des Muskels sich vermehrt, der Wasserextract sich vermindert, oder noch leichter mit Hilfe der von du Bois-Reymond entdeckten sauren Reaction des sich contrahirenden Muskels gemessen. Die saure Reaction kann mit Hilfe des auf die gewöhnliche Art bereiteten, im Dunkeln über Kalihydrat aufbewahrten Lackmuspapiers erkannt werden. Du Bois-Reymond schlägt folgendes zweckmässige Verfahren zur Vergleichung der Reaction verschiedener Muskeln vor: Eine Anzahl rother und blauer Lackmusspapierstreifen wird in bunter Reihe auf einem Brettchen dachziegelförmig ausgespannt. Man presst die Muskelfläche gleichzeitig gegen zwei solche Streifen, und hat, indem man so einen rothen und blauen Streifen neben einander trifft, den Vortheil, dass man durch Vergleich über die Natur und den Grad der Verfärbung sich leichter ein Urtheil bilden kann.

Heidenhain benutzt, um den Grad der Säurebildung zu bestimmen, eine besonders zubereitete Lackmustinctur. Nach dem Principe des von Welcker zur Bestimmung der Blutmenge im Körper benutzten Verfahrens der Colorimetrie construirte Heidenhain mit Hilfe der Lackmusslösung eine Farbenscala, deren Vergleichung mit der jedesmal vom Muskel erhaltenen Färbung den Grad der Säurebildung zu schätzen gestattete. Näheres über dieses Verfahren siehe „Mechanische Leistung etc." p. 145 u. folg., sowie Pflüger's Archiv Bd. 2 Seite 428 u. f.

die Physiologie von dem Stoffumsatze in den Muskeln besitzt, und bei der so ausserordentlichen Abhängigkeit dieses Umsatzes von vielen theilweise unbekannten Variabeln muss die Hoffnung auf den experimentellen Nachweis der Gültigkeit des Gesetzes der Erhaltung der Kraft bei der Muskelthätigkeit noch auf lange hinausgeschoben werden. Dies um so mehr, wenn man berücksichtigt, dass fast unwägbare Mengen verbrennlicher Substanzen den Muskel schon zu sehr grossen Leistungen befähigen, wie es z. B. die Versuche über ausgeschnittene Muskeln und Herzen erwiesen haben (Ludwig und seine Schüler). Eher könnte vielleicht ein solcher experimenteller Beweis durch Messungen des ganzen Stoffumsatzes im Körper und gleichzeitige Beobachtung seiner Arbeitsleistungen (Hirn u. A.) geliefert werden. Glücklicherweise bedarf die Gültigkeit dieses Gesetzes auch keines stricten experimentellen Beweises.

Die bei der Dehnung des Muskels zu beobachtende Wärmebildung (Schmulewitsch, Westermann) kann auch mit Hilfe der Heidenhain'schen Thermosäule beobachtet werden.

Um die Bildung der Wärme bei der Todtenstarre zu verfolgen, verfuhren Fick und Dybkowsky folgendermassen:

Einige Liter Wasser waren in einem Blechgefässe auf der zur Erzeugung der Wärmestarre nothwendigen Temperatur mit genauer Constanz erhalten. Ein Thermometer, das in das fortwährend umgerührte Wasser getaucht war, zeigte genau die Temperatur an. Neben diesem Thermometer wurde ein zweites, mit ihm vorher genau ausgeglichenes eingesenkt, das mit noch lebender Muskelsubstanz umwickelt war. Da die Temperatur dieser Substanz niedriger war, als die des Wassers, so erwärmte sich allmählich dieses Thermometer. Beide Thermometer wurden von Minute zu Minute abgelesen. Wird bei der Starre Wärme entwickelt, so musste in einem gegebenen Augenblicke das mit Muskelsubstanz umwickelte Thermometer eine höhere Temperatur als das einfach im Wasser steckende anzeigen. Die verwendeten Geissler'schen Thermometer waren in Zwanzigstelgrade einer hunderttheiligen Scala getheilt und mit einander sowie mit einem Normalthermometer von Greiner verglichen.

Am Schlusse noch einige Angaben über die Methoden zur Beobachtung des Muskeltons.

Beim Menschen oder bei grösseren Thieren hört man den Muskelton, indem man ein gewöhnliches Stethoskop an die sich contrahirenden Muskeln anlegt. Die Contractionen kann man beim Menschen unter dem Einflusse des Willens oder eines elektrischen Reizes, der von einem gewöhnlichen du Bois'schen Schlittenelektromotor geliefert wird, geschehen lassen. Werden elektrische Reize beim Menschen gebraucht, so wählt man am besten den M. biceps brachii, oder die Vorderarmmuskeln, wenn man dieselben durch Reizung des N. medianus in der Achselhöhle erregen will. Um dabei von dem Geräusch des schwingenden Hammers des Inductionsapparates nicht gestört zu werden, stellt man ihn in einem entfernteren Zimmer auf. Dies giebt noch die Möglichkeit, bei Variirung der Unterbrechungszahl gleichzeitig die Tonhöhe des Muskels entsprechend zu verändern.

Um zu beweisen, dass die periodischen Stösse, welche der Strom dem Nerven ertheilt, mit unveränderter Periode auf den Muskel übergehen und ihn in Schwingungen versetzen, schwächt man den Strom so, dass er, auf den Muskel direct

applicirt, keine Zusammenziehung mehr erzeugen kann, dies aber noch vom Nerven aus vermag. (Helmholtz.)

Seinen eigenen Muskelton hört man nach Helmholtz am besten des Nachts, wenn man die Ohren mit Pfropfen aus Siegellack oder nassem Papier verstopft und die stärkeren Muskeln des Kopfes, z. B. die Masseteren, stark contrahirt. Bei Erhaltung des Muskels in gleichmässiger Spannung hört man deutlich ein dumpfes brausendes Geräusch. Will man den eigenen Muskelton nicht durch den Willensreiz, sondern durch elektrische Ströme erzeugen, so reizt man unter denselben Umständen den Masseter mittelst eines Inductionsapparates, der bei geschlossenen Thüren in einem entfernten Zimmer in Gang gesetzt wird. Auch auf diese Weise erhält man bekanntlich einen Ton, dessen Schwingungszahl der Zahl der Schwingungen des Hammers am Inductionsapparate entspricht.

Will man höhere Töne am menschlichen Muskel erzeugen, als sie bei dem Spiel des Neef'schen Hammers erzielt werden können, so kann man zu Unterbrechungen des primären Stromes schwingende Stimmgabeln verwenden. Bei den starken Strömen, die zur Erregung der Nerven beim Menschen erforderlich sind, wird das Quecksilber in dem Stimmgabelunterbrecher schnell verbrannt und zerstreut. Durch Anbringung von metallischen Nebenleitungen für den Elektromagnet und Wasserzersetzungsquellen für die Leitungsstücke, wo der Funken entsteht, gelang es Helmholtz, diesem Uebelstande abzuhelfen.[1])

Um die Höhe des natürlichen Muskeltons besser bestimmen zu können, bediente sich Helmholtz besonderer Resonnanzapparate, deren Schwingungen sichtbar gemacht werden konnten. Stählerne Uhrfedern von einer Länge, dass ihre Schwingungsperiode derjenigen des wahrzunehmenden Tones gleich war, wurden zwischen 4 Drahtstiften eingeklemmt, die an den Enden eines durch Längsschnitte getheilten elastischen Brettchens befestigt waren. Dieses Brettchen legte Helmholtz auf den sich contrahirenden Muskel auf. Die Stahlfeder, auf welche die Erschütterungen des Muskels durch die federnden Abschnitte des Brettchens übertragen wurden, geriethen dabei in ein starkes Mitschwingen. Indem er die Länge der schwingenden Federn variirte, fand Helmholtz, dass der Grundton des natürlich sich zusammenziehenden Muskels aus 18—20 Schwingungen in der Secunde gebildet wird. Auch schwingungsfähige Papierstreifen, deren Schwingungsperioden dadurch bestimmt wurden, dass man sie an die schwingende Feder eines Inductionsapparates hielt und so ermittelte, bei welcher Schwingungszahl diese Feder am leichtesten in Schwingung geräth, erwiesen sich für die Beobachtung des natürlichen Muskeltons geeignet.

Bei directer Tetanisation des Froschschenkels gelingt es, bei höheren Unterbrechungszahlen (bis 120 in der Secunde) einen entsprechenden Muskelton zu hören, wenn man den Muskel, der ein Gewicht bei der Contraction hebt, an einen in den Gehörgang gesteckten Glasstab hängt.

Bei tetanischer Reizung des Ischiadicus beim Kaninchen lässt sich mit Hilfe eines auf die Oberschenkel gestellten Stethoskops ein Ton hören, dessen Höhe

---

1) Man könnte auch einen Stimmgabelunterbrecher von der Construction des auf Tafel XVII Fig. 3 abgebildeten benutzen, der keiner Quecksilbercontacte bedarf.

der Zahl der Unterbrechungen entspricht. Auch dabei muss selbstverständlich der Inductionsapparat in einem entfernten Raume aufgestellt werden.

Wie schon du Bois-Reymond im Jahre 1859 bei Gelegenheit seiner Versuche über die saure Reaction des Muskels angiebt, kann man durch Tetanisation des Rückenmarks beim Kaninchen einen gut wahrnehmbaren Muskelton hören, dessen Höhe von der Unterbrechungszahl des Inductionsapparates ganz unabhängig ist.

Nach Helmholtz gelingt es beim Frosche am leichtesten durch Tetanisation des Rückenmarks einen Ton zu erzeugen, wenn der tetanisirende Strom 18 Unterbrechungen in der Secunde macht.

Da die Lehre von der selbstständigen Erregbarkeit des Muskels durch die Untersuchungen von Cl. Bernard, Kölliker und Kühne zu einem definitiven Abschluss gebracht worden ist, so wäre das Eingehen auf die darauf bezüglichen Methoden ganz überflüssig. Es seien daher hier nur ein Paar Versuche angegeben, die bei Demonstrationen zum Beweis der selbstständigen Erregbarkeit vorgezeigt werden können.

Zuerst wird die Thatsache, dass Curare nur die motorischen Nerven, nicht aber die Muskeln lähmt (Cl. Bernard), durch einen gewöhnlichen Vergiftungsversuch demonstrirt. Darauf wird einem Frosch der Kreuzknochen entfernt und durch Ligatur sämmtlicher Weichtheile, mit Ausnahme der Lumbalnerven in den hinteren Extremitäten, die Circulation ganz aufgehoben.

Mit Hilfe eines so zubereiteten Frosches wird gezeigt, dass Curare nicht die motorischen Centren, sondern nur die Nervenenden lähmt. Hat man nämlich Curare in den Vordertheil des Frosches eingespritzt, so bleiben die Lumbalnerven von dem Gift unberührt (Cl. Bernard). Dasselbe kann auch durch eine Massen-Ligatur um die eine Extremität und nachherige Curarevergiftung gezeigt werden.

Folgender von Kölliker herrührender Versuch ist ebenfalls sehr lehrreich. An einem Frosch wird der Gastrocnemius, an der Achillessehne angefangen, von dem übrigen Schenkel soweit abgelöst, dass er nur noch durch seinen Nerven mit dem übrigen Körper im Zusammenhange bleibt. Seine Gefässe werden dabei auf die schon oben mehrmals angegebene Weise unterbunden; der zweite vom Ischiadicus zum Unterschenkel sich begebende Ast wird sorgfältig geschont. Wird nun der Frosch mit Curare vergiftet und reizt man dann den Ischiadicus, so ruht der ganze Unterschenkel, während der Gastrocnemius in Zuckung geräht.

Da auf diese Weise bewiesen wird, dass durch Curare nicht die Nervenstämme, sondern nur die Nervenenden gelähmt werden, so hat die von Cl. Bernard gefundene Thatsache, dass directe Muskelreizungen noch Zuckungen hervorrufen, ihre volle Beweiskraft für die selbstständige Erregbarkeit der Muskeln.

Die Kühne'schen Versuche mit Ammoniakdämpfen und anderen chemischen Muskelerregern werden in der bekannten Weise zuerst auf Nerv und dann auf Muskel applicirt.

Bibliographie zu Capitel V.

§. I. E. du Bois-Reymond: Untersuchungen über d. thierische Elektricität. 1848. Bd. I. S. 446.

§. II. Poggendorff: Annalen. 1840. Bd. XLIX.
E. du Bois-Reymond: Vorrichtungen und Versuchsweisen. Berlin 1863. S. 102.
— — Poggendorff's Jubelband. Berlin 1874. S. 592.
E. Pflüger: Die Lehre vom Elektrotonus. Berlin 1859.
S. Lamansky: Centralblatt f. med. Wiss. 1869. No. 2 und 16.
— — Studien aus dem Breslauer Labor. Heft 4.
A. B. Meyer: Centralblatt. 1868 No. 46. 1869 No. 11.
Ad. Fick: Beiträge z. vergl. Physiologie der irritablen Substanzen.
— — Untersuchungen über die elektrische Nervenreizung. Braunschweig 1864.
— — Med. Physik. Braunschweig 1866. 2. Aufl.
König: Wien. Sitzungsb. 1870. Bd. LXII.
Kronecker: Arbeiten a. d. physiolog. Anstalt zu Leipzig. 1871.
Bowditch: Ibidem 1871.
Marey: Du mouvement dans les functions de la vie. Paris 1868.
W. Stirling: Arbeiten a. d. physiol. Anstalt zu Leipzig. 1874.
Pohl: Karsten's Archiv 1828. Bd. XIII.
Dujardin: Ann. de Chim. et de Phys. T. IX.
E. du Bois-Reymond: Ueber nicht polarisirbare Elektroden. Monatsberichte der Berliner Akad. d. Wiss. 1859.
— — Poggendorff's Jubelband. Berlin 1874. S. 594.
Wild: Vierteljahrschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. 1857.

§. III. E. du Bois-Reymond: Vorrichtungen etc. Berlin 1863.
E. Pflüger: Elektrotonus. Berlin 1859.
S. Ranke: Der galv. Leitungswiderstand des lebenden Muskels. Ansbach 1862.
G. Wiedemann: Die Lehre vom Galvanismus etc. Braunschweig. 1. Bd. 1. Abth.
E. Harless: Abhandlungen d. Bayr. Akad. d. Wiss. 1858. II. Classe.

§. IV. E. du Bois-Reymond: Vorrichtungen etc. Berlin 1863.
— — Untersuch. üb. d. thierische Elektricität. Berlin 1848. Bd. I. S. 161 und f.
— — Ibid. Bd. II. S. 480 u. f.
Moser: Repert. d. Physik. Bd. I. 1837.
Matteucci: Traité d. phénom. elektrophysiologiques. 1844.
E. du Bois-Reymond: Poggendorff's Annalen 1855. Bd. XCV. S. 607.
Péclet: Ann. de chim. et de phys. 3. série. T. II. 1841. Pogg. Ann Bd. LVI.
Melloni: Arch. d'Elect. T. I. 1841.
Werner Siemens: Zeitschrift des Telegraphenvereins. Jahrg. XV.

§. V. Meissner und Meyerstein: Poggendorff's Annalen 1861. Bd. CXIV.
— — Henle und Pfeufer's Zeitschrift. Bd. XI. 3. Reihe.
G. Wiedemann: Galvanismus etc. 2. Bd. 1. Abth.
E. du Bois-Reymond: Nichtpolar. Elektr. etc. Monatsberichte d. Berl. Akad. d. Wiss. 1859.
Hauy: Mém. de Museum d'Histoire natur. 1817.
C, F. Gauss: Werke u. s. w. Göttingen 1867. Bd. V. S. 374.
E. du Bois-Reymond: Die aperiodische Bewegung. Vier Abhandl. Monatsberichte der Berl. Akad. d. Wiss. 1869, 1870, 1874 und 1875.
Mohr: Poggendorff's Annalen 1836. Bd. XXXIX.
Schilling von Canstadt und Lenz: Ibid. 1843. Bd. LIX; 1849 Bd. LXXVI.
Draper: Philosoph. Magaz. etc. 1839. 3. Ser. V. XV.
Wild: Die Neumann'sche Methode etc. Vierteljahrsschr. d. Nat. Ges. in Zürich. 1857.
Siemens: Siehe E. du Bois-Reymond: Aperiod. Beweg. 3. Abh. 1874.
V. v. Lang: Sitzungsb. d. Wiener Akad. d. Wiss. 1873. Bd. LXII.
Exner und Lang: Carl's Repert. Bd. V. 1869.

§. VI. Poggendorff: Annalen 1841. Bd. LIV. S. 161.
E. du Bois-Reymond: Vorrichtungen etc. Berlin 1863. S. 107.
— — Das Gesetz des Muskelstroms etc. Arch. v. Reichert u. du Bois. Berlin 1863. S. 27.
— — Ueber die elektr. Kraft der Nerven und Muskeln. Ibid. 1867. S. 417.
— — Anleitung zum Gebrauch des runden Compensators. Ibid. 1871. S. 608.
§. VII. Jos. Henry: Transactions of the American Philosophical Society. New Ser. 1839. V. VI. Poggendorff's Annalen. 1842 (Ergänzungsband).
E. du Bois-Reymond: Untersuchungen etc. Bd. II. 1849.
— — Vorrichtungen etc. Berlin 1863. S. 99.
— — Ueber den zeitlichen Verlauf der Inductionsströme. Monatsb. d. Berl. Ak. 1862.
Bernstein: Untersuchungen über den Erregungsvorgang etc. Heidelberg 1871.
— — Pflüger's Arch. 1869 und 1871.
Setschenow: Pflüger's Arch. 1871.
Grossmann: Bericht über die 32. Versammlung deutscher Naturforscher etc. Wien 1855.
Pflüger: Elektrotonus. Berlin 1859. S. 126.
Valentin: Physikalische Untersuchung der Gewebe. Heidelberg 1867.
— — Zeitschrift für Biologie. XI. Bd. 1875.
Preyer: Myophysische Gesetze. Jena 1874.
Luchsinger: Pflüger's Arch. Bd. 8. 1874.
Rollett: Sitzungsberichte der Wiener Akad. Bd. LXX. 1874.
Fick: Unt. ü. elektrische Nervenreizung etc. Braunschweig 1864.
A. B. Meyer: Unters. a. d. physiol. Labor. d. Züricher Hochschule. Wien 1869.
Kronecker: Arbeiten aus d. physiol. Anstalt zu Leipzig. 1871.
Bowditch: Ibid.
§. VIII. E. du Bois-Reymond: Untersuchungen etc. Bd. 1.
— — Ueber nicht polarisirb. Elektr. Monatsber. d. Berl. Akad. 1859.
— — Vorrichtungen etc. 1863. S. 88 und 95.
— — Ueber die Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte. Monatsber. der Berl. Akad. 1856. Moleschott's Unters. 1858.
— — Ueber die innere Polarisation poröser mit Elektrolyten durchtr. Halbleiter. Moleschott's Unters. 1858.
— — Ueber den secund. Widerstand. Monatsber. der Berl. Akad. d. Wiss. 1860.
Jules Regnauld: Comptes rendus. 1854. T. XXXVIII. L'Institut. Vol. XXII. N. 1067.
Matteucci: Comptes rendus. 1856. T. XLIII. Philosophic. Transactions. 1857.
Pflüger: Elektrotonus etc. S. 98.
Czermak: Allg. Med. Central-Zeitung. 1861.
Ecker: Anatomie des Frosches. Braunschweig.
E. du Bois-Reymond: Ueber die negative Stromschwankung. Archiv von Reichert und du Bois. 1873. S. 521. Anm. 2.
— — Untersuch. üb. d. thier. Elektr. II. Bd. II. Abth. 1. Lief.
— — Ueber das Gesetz des Muskelstroms. Archiv v. Reichert u. du Bois. 1863. S. 525.
— — Archiv von Reichert und du Bois. 1867. S. 264. Anm.
Dugès: Recherches sur l'ostéologie et la myologie etc. Paris 1834.
Cuvier: Leçons d'anatomie comp. Paris 1835. Vol. 1 et 2.
Kühne: Archiv von Reichert und du Bois. 1859.
— — Myologische Untersuchungen. Leipzig 1860. S. 45.
Matteucci: Ann. de Chimie et de phys. 3. série. 1843.
— — Traité des phénomènes élektro-physiol. Paris 1844.
Galvani: De viribus Electricitatis in motu Commentarius. Bologna 1791.
§. IX. E. du Bois-Reymond: Untersuchungen. II. Bd. 1. Abth.
— — Untersuchungen. II. Bd. 2. Abth. S. 276 u. f.
— — Die negative Schwankung etc. Archiv v. Reichert und du Bois. 1873.
Ampère et Babinet: Exposé des nouvelles découv. sur l'Électricité etc. Paris 1822. S. 17.
Meissner: Zeitschrift f. ration. Med. 1862. 3 R. Bd. XV.

Harless: Münchener Sitzungsber. 1861. I. S. 67.
Bezold: Monatsberichte der Berl. Akad. d. Wiss. 1861 und 1862.
Helmholtz: Ibid. 1854. S. 328.
Holmgren: Centr. f. med. Wiss. 1864. Upsala läkareförenings förhandlingar. 1867. Arch. von Reichert und du Bois. 1871.
Bernstein: Untersuchungen über d. Erregungsv. etc. Heidelberg 1871.
Exner: Wiener Sitzungsberichte. 1868.
Meissner: l. c.

§. X. Pflüger: Elektrotonus. 1859. Berlin.
Wundt: Nervenmechanik. Heidelberg 1871.
E. du Bois-Reymond: Vorrichtungen etc. S. 129 u. f.
Eckhard: Beiträge z. Anat. u. Phys. Giessen 1858.
O. Nasse: Pflüger's Arch. Bd. III. 1870.
Rosenthal: Allg. med. Central-Zeitung. 1859.
— — Moleschott's Untersuchungen. 1857.
Marianini: Ann. de chim. et de phys. 1829. T. XI.
Valentin: Wagner's Handwörterb. d. Phys. Bd. I.
Eckhard: Beiträge z. An. u. Phys. 1855. Heft 1.
Pflüger: l. c. S. 456.
Chauveau: Journ. de Physiol. T. II und III.
Fick: Unters. über die elektr. Nervenreizung. Braunschweig. 1864.
E. Cyon: Principes d'Electrothérapie. Paris. 1873.
E. du Bois-Reymond: Untersuchungen etc. Bd. I. S. 429 u. f.
Zahn: Pflüger's Archiv. Bd. I.
Cl. Bernard: Leçons sur le système nerveux. Paris 1858. T. I. S. 144.
Heidenhain: Physiologische Studien. Berlin 1856.

§. XI. Thomas Young: Lectures on natural philosophy etc. London 1807.
Siemens: Poggendorff's Annalen. Bd. LXVI. Fortschritte der Physik für das Jahr 1845. Berlin 1847.
Wheatstone: Poggendorff's Ann. LXV. Comptes rendus. 1840.
Breguet: Comptes rendus. 1840. Poggendorff's Ann. LXV.
Johannes Müller: Handbuch der Physiologie. 1838.
E. du Bois-Reymond: Jahresbericht d. physic. Ges. z. Berlin. 2. Bd. 1845.
Helmholtz: Ueber die Methoden, kleinste Zeittheilchen zu messen und ihre Anwendung f. physiol. Zwecke. Königsberger Naturw. Verhandlungen. 1850.
— — Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven. Müller's Archiv. 1850. Comptes rendus. 1850. Février.
— — Messungen etc. Müller's Arch. 1852. Monatsber. der Berl. Akad. d. Wiss. 1852.
A. v. Bezold: Elektrische Erregung der Nerven und Muskeln. Leipzig 1861.
Valentin: Zuckungsgesetze des lebenden Nerven und Muskels. Leipzig 1863.
— — Physiol. Pathologie d. Nerven. Heidelberg 1864.
Thiry: Henle und Pfeufer's Zeitschrift. 3. Reihe. Bd. XXI. 1864.
Marey: Du Mouvement etc. Paris 1868. Journal de physique d'Almeida. No. 29. 1874.
E. Cyon: Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit etc. Bull. des l'Acad. des Sciences de St. Pétersbourg. 1873.
Fick: Vierteljahrsschrift der Naturforsch. Ges. z. Zürich. 1862. 3. Heft.
Wundt: Nervenmechanik. Heidelberg 1871.
E. du Bois-Reymond: Poggendorff's Jubelband. 1874.
Mercadier: Comptes rendus. 1874.
A. Hirsch: Moleschott's Untersuchungen etc. 1864.
Schelske: Arch. f. Anat. und Physiol. v. Reichert und du Bois-Reymond. 1864.
Helmholtz und Baxt: Monatsberichte der Berl. Akad. d. Wiss. 1867 und 1870.
Donders: Arch. v. Reichert und du Bois. 1868.

Jendrássik: Fallmyographion. Budapest. 1873.
Wundt: Physiologische Psychologie. Heidelberg 1874.
§. XII. Helmholtz: Müller's Arch. 1850 und 1852.
Pflüger: Elektrotonus. 1859.
Klünder und Hensen: Arbeiten aus d. phys. Labor. zu Kiel. 1869.
Sanders-Ezn: Arb. aus d. phys. Anst. z. Leipzig. 1867.
Kronecker: Ueber die Ermüdung und Erholung quergestreifter Muskeln. Arb. aus der phys. Anst. z. Leipzig. 1871.
Chr. Boeck: Oeversigt af kongl. Academiens Förhandlingar. 1855.
Marey: l. c.
Place: Nederlandsch Archief voor Genees- en Natuurkunde. III.
E. Cyon: Principes d'Electrothérapie. Paris 1873.
Aeby: Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit etc. Braunschweig 1862.
Bernstein: Untersuchungen etc. Heidelberg 1871.
Hermann: Pflüger's Arch. Bd. X. S. 48 u. 639.
Aeby: Ibidem. Seite 465.
Engelmann: Jenaische Zeitschr. für Natur- und Heilkunde. Bd. III. 1867.
Ed. Weber: R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. 3. Bd. 2. Abth.
Volkmann: Berichte d. Leipz. Ges. d. Wiss. 1856. - Müller's Arch. 1857 u. f.
Wundt: Die Lehre v. d. Muskelbewegung. Braunschweig 1858.
Harless: R. Wagner's Handwörterbuch etc. Bd. IV.
Preyer: Travaux de la société all. de Paris. 1864.
E. du Bois-Reymond: Abänderung des Stenson'schen Versuchs etc. Arch. v. Reichert und du Bois. 1860.
Longet: Traité de Physiologie. Paris 1869. T. II. p. 615.
Sténon: Biblioth. anat. de Manget T. II. De motu musculari.
§. XIII. Ed. Weber: l. c.
Fick: Beiträge z. vergl. Physiol. der irritablen Substanzen.
— — Unters. über d. elektrische Nervenreizung. Braunschweig. 1864.
— — Unters. über die Muskelarbeit. Basel. 1867.
Schmulewitsch: Comptes rendus. 1867. Journal de l'anatomie et physiologie. 1868. Wiener med. Jahrbücher. 1868.
Heidenhain: Mechanische Leistung, Wärmeentwicklung etc. Leipzig 1864.
Hermann: Arch. v. Reichert und du Bois. 1861.
Kronecker: l. c. und Monatsber. der Berl. Akad. d. Wiss. 1870.
Tiegel: Berichte der Sächs. Ges. d. Wiss. 1875.
Schwann: Handbuch d. Physiologie v. Johannes Müller. 2. Bd. Coblenz. 1840. S. 59 u. 60.
Valentin: Lehrb. d. Phys. d. Menschen. 1844. Bd. 2. S. 176.
Hermann: Pflüger's Arch. 4. Bd. 1871. Seite 195.
Fick: Arb. a. d. phys. Lab. zu Würzburg. 1872. S. 173.
— — Pflüger's Arch. 1871. 4. Bd. S. 301.
Rosenthal: Comptes rendus. 1867.
Henke und Knorz: Zeitschrift f. rat. Med. Bd. 24. S. 247.
Koster: Nederlandsch Archief voor Genees- en Natuurkunde. 1867. Bd. III.
Becquerel et Brechet: Ann. d. Sc. natur. 2. Serie. Vol. III.
Béclard: Arch. gén. de médecine. 1861.
Helmholtz: Müller's Arch. 1848.
Thiry: Henle und Pfeufer's Zeitschrift. Bd. XX.
Solger: Studien d. phys. Instituts z. Breslau. I.
Heidenhain: l. c.
Dufour: La constance de la force etc. Lausanne 1865 (Züricher Dissertation).
Dupuy: Gaz. médicale. 1867.
Fick: Unters. a. d. phys. Lab. d. Züricher Hochschule. S. 1 u. f. Wien. 1869.
Heidenhain (Hepner und Nigetiet): Pflüger's Arch. 1870. S. 574.

Haidenhain (Landau und Pacully): Ibid. 1869. S. 423.
E. du Bois-Reymond: Ueber die angeblich saure Reaction des Muskelfleisches. Monatsberichte der Berl. Akad. d. Wiss. 1859.
Kronecker: De ratione qua musculorum defatigatio ex labore eorum pendeat. Dissert. Berolina. 1863.
Fick und Dybkowsky: Untersuch. etc. aus d. Zür. Hochschule. 1869.
Haughton: Outlines of a new theory etc. London 1863.
Helmholtz: Monatsberichte der Berl. Akad. d. Wiss. 1864.
— — Verhandlungen des naturhist.-medic. Vereins zu Heidelberg. 1866.
Cl. Bernard: Tissus vivants. Paris 1865. Leçons sur les substances toxiques. 1857.
Kölliker: Virchow's Arch. für pathol. Anat. Bd. X.
Kühne: Myologische Untersuchungen. Leipzig. 1860.

SECHSTES CAPITEL.

Specielle Nervenphysiologie.[1])

§. 1. Versuche über das Gehirn.

Auf keinem Gebiete zeigt es sich deutlicher, welchen mächtigen Einfluss auf die Entwickelung der Physiologie die Einführung von messenden und wägenden Methoden bei Experimenten auszuüben vermag, wie auf dem Gebiete der Gehirnphysiologie.

Im Anfang dieses Jahrhunderts das Lieblingsobject der grössten Vivisectoren, ist die Gehirnphysiologie trotzdem, was sowohl Technik der Versuche, als die durch letztere gewonnenen Thatsachen betrifft, bis jetzt nur sehr wenig seit Legallois und Flourens weiter gekommen.

Der Schwierigkeit, die exacteren Hilfsmittel der Physik beim directen Studium der Gehirnthätigkeit zu verwenden, liegen mehrere Ursachen zu Grunde. Obenan steht jedenfalls die Unmöglichkeit, von den Thieren, welche zum Experimentiren benutzt werden, Aufschluss darüber zu erhalten, in wie weit die von uns in der Gehirnthätigkeit gesetzten Veränderungen in die normalen Functionen derselben wirklich einzugreifen vermögen.

Die alleinigen sicheren Reactionen, welche wir von Thieren in dieser Richtung erhalten können, bestehen in den bei directen und reflectorischen Reizungen auftretenden Bewegungen und in den Veränderungen, welche die gewohnten Bewegungen des Thieres (Laufen, Stehen, Gehen etc.) durch operative Eingriffe erlitten haben. Alle anderen Schlüsse, welche dabei gezogen werden, auf die bewussten Empfindungen (Schmerz, Unbehaglichkeit, Empfindungen der specifischen Sinnesorgane) und auf die Willensäusserungen von Seiten des Thieres haben nur einen sehr beschränkten Werth und sind im Grunde genommen ganz unbewiesene Vermuthungen, welche wir, ohne dazu die geringste Berechtigung zu besitzen, auf die Beobachtungen der Reizeffect ein der motorischen Sphäre und der Gleichgewichtsänderungen gründen.

Die weitere Schwierigkeit der exacten Forschung auf diesem Gebiete liegt darin, dass die Eingriffe, welche wir in diese Thätigkeit zu setzen vermögen, so unendlich roh im Vergleich zu den Störungen sind, die sie erzeugen, dass wir diese Störungen meistens erst zu erkennen vermögen, wenn sie quantitativ sich in

1) Bei dem ganz elementaren Charakter der meisten in diesem Capitel beschriebenen Versuche beschränken sich ihre Ergebnisse häufig auf die unmittelbar in Folge der Vivisection gesetzten Veränderungen. Die gemachte Vivisection bildet hier gewöhnlich das ganze Experiment. Da wir nur die Methoden der Experimente geben, so beschränkt sich unsere Beschreibung hier meistens auf die Technik der Operationen.

einem schon sehr hohem Maasse äussern. Und auch in diesem Falle können wir meistens nicht etwa feinere Modificationen der Functionen, sondern nur ihren Wegfall oder ihr weiteres Fortbestehen nach dem gesetzten Eingriff constatiren.

Wie schon gesagt, können nur die Theile der Gehirnfunctionen, welche in nächster Beziehung zu der motorischen Sphäre des Thieres stehen, uns directere Aufschlüsse über gestellte experimentelle Aufgaben liefern, obgleich auch hier wegen der eigenthümlichen Verwickelungen des anatomischen Baues wir meistens im Stiche gelassen werden, wenn es auf präcisere Localisation der Erscheinungen ankommt.

In der Ermittelung der Gehirnfunctionen steht daher die experimentelle Physiologie meistens ganz machtlos da, und muss nicht selten den Vorrang den rein anatomischen Untersuchungen oder der pathologischen Beobachtung überlassen. Nur zwei experimentelle Eingriffe und zwar die primitivsten, welche die Physiologie überhaupt besitzt, sind beim directen Studium der Gehirnfunctionen anwendbar: die Verletzung und die Reizung. In dieser Beziehung hat die Methodik der Physiologie des Gehirns seit den ersten Versuchen von Legallois und Flourens nur sehr wenige unbedeutende Fortschritte aufzuweisen. Und da der Natur der Sache wegen die individuelle Geschicklichkeit des Vivisectors hier mehr als bei irgend einem anderen Theile der Physiologie in Betracht kommt, so sind seit diesen Experimentatoren in mancher Beziehung noch Rückschritte gemacht worden.[1])

Die Verborgenheit der Lage, die besondere Zartheit und Complicirtheit der Structur erschweren im hohen Grade die Entfernungen einzelner Theile des Gehirns; die continuirliche Verbindung vieler functionell wichtiger Theile auf einem so beschränkten Raum macht die Ausführung localisirter Reizung, beziehlich die Controlle der erhaltenen Reizeffecte meistens unmöglich. Also auch die Anwendung dieser beiden einfachsten Prüfungsmittel ist hier nur in beschränktem Maasse zulässig. Dass daher die meisten über die Gehirnthätigkeit auf experimentellem Wege gewonnenen Aufschlüsse nur einen sehr beschränkten Grad der Zuverlässigkeit besitzen und dass die gewonnenen Resultate hier nicht im entferntesten mit denen auf anderen Gebieten der Physiologie erhaltenen an Beweisfähigkeit gleichgestellt werden können, bedarf wohl für den Physiologen keiner weiteren Begründung. Darüber muss jeder am Gehirne Experimentirende im Klaren sein, dass im glücklichsten Falle seine Beobachtungen nur Aufschlüsse über die anatomische Lage functionell verschiedener Gehirntheile geben können. Die aus solchen Beobachtungen zu erwartende physiologische Ausbeute ist meistens ganz gering. Der Spielraum für physiologische Schlussfolgerungen, welche solche Beobachtungen zulassen, ist um so beschränkter, je mehr der Experimentirende an exacte Forschung gewöhnt ist.

Die Durchschneidung oder Abtragung einzelner Theile haben bei Versuchen am Gehirn eine viel grössere Bedeutung als bei anderen Organen. Während sonst die Hervorrufung einer Function durch Reizung einen viel eclatanteren Beweis als der Wegfall einer Function durch Lähmung eines Nerven abgibt — ist beim Gehirn das Gegentheil der Fall. Die Unmöglichkeit der isolirten Reizung macht die meisten bei Reizungen einzelner Hirntheile beobachteten Effecte, was die Localisation anbetrifft, ganz illusorisch.

1) Vergleiche z. B. weiter unten die Technik der Versuche über die Bogengänge.

Der durch Abtragung eines Gehirntheils erzeugte Wegfall einer Thätigkeit besitzt also viel mehr Beweiskraft. Aber die Erzeugung dieser Abtragungen und Durchschneidungen muss hier in anderer Weise, als im übrigen Körper geschehen. Während man sonst bei Vivisectionen bemüht sein muss den gewünschten Operationszweck durch möglichst kleine Wunden zu erreichen, ist es bei Versuchen am Gehirn im Gegentheil vortheilhafter grössere Schädeleröffnungen zur Abtragung kleiner Hirnpartien, als kleine Schädelöffnungen zur Entfernung resp. Durchschneidung grosser Partien vorzunehmen. Auf diesen Unterschied wird gewöhnlich nicht Acht gegeben, aber mit Unrecht. Eine vollkommene Entfernung eines Hirntheils kann nur dann ohne Zerrung benachbarter Theile, ohne Zurücklassung von Blutgerinnseln ausgeführt werden, wenn das Schädeldach in gehöriger Ausdehnung entfernt worden ist.

Die Compression benachbarter Theile durch Blutansammlung ist aber eine der häufigsten Fehlerquellen bei derartigen Operationen. Flourens hat diesen Umstand schon mit grosser Klarheit hervorgehoben, ist aber von den späteren Beobachtern nicht beachtet worden. Auch die sorgfältigste postmortale Untersuchung mit Hilfe des Mikroskops kann nicht im Entferntesten dieselbe Sicherheit gewähren, wie die freie Uebersicht über die zu operirenden Theile während der Schnittführung. Darum ist auch die Abtragung eines Gehirntheils ein exacteres Versuchsmittel als die blosse Durchschneidung.

Die Thiere, welche am häufigsten zu Vivisectionen am Gehirn verwendet werden, sind Vögel, Kaninchen, Frösche, Meerschweinchen, Katzen, Hunde u. s. w. Bei den grossen Abweichungen in dem anatomischen Baue und wahrscheinlich auch in dem physiologischen Werthe dieser Theile bei den genannten Thieren sind Vergleiche erhaltener Versuchsresultate nur mit der äussersten Vorsicht zulässig.

Die gleichen Bezeichungen der Hirntheile beziehen sich bei den verschiedenen Thieren auf anatomisch und physiologisch ganz verschiedene Gebilde. Auch ist die Lagerung der einzelnen Gehirntheile bei diesen Thieren so ganz verschieden, dass auch sie nicht als Orientirungsmittel benutzt werden können.

Es ist daher erforderlich, gemachte Beobachtungen nur für die Thierklasse zu verwerthen, die Gegenstand des Experiments war. Eine Vorschrift, die um so mehr geboten ist, als, wie schon erwähnt, die einzigen wahrscheinlicheren Schlussfolgerungen, welche solche Beobachtungen gestatten, rein anatomischer Natur sind.

Die Eröffnung der Schädelhöhle geschieht je nach der Dicke der Knochen mit Hilfe von Trepanen, Trephinen, Zangen, langen Messern u. s. w. Welche dieser Instrumente man auch im speciellen Fall verwendet, so kann die Eröffnung der Schädelhöhle bei einiger Vorsicht fast immer ohne jede Blutung und ohne die geringste Verletzung der Hirnhäute geschehen.

Die Eröffnung der Schädelhöhle muss immer an Stellen beginnen, wo die venösen Säcke nicht verletzt werden können. Ist die Abtragung eines so grossen Stücks des Schädels erforderlich, dass die den Sinus entsprechenden Theile mit entfernt werden müssen, so ist es auch in diesem Falle geboten, diese letzteren Schädelstücke ganz zuletzt abzutragen. Wegen der besonderen Bedingung der Circulation in diesen Gefässen ist die Blutung aus ihnen um so heftiger, je geringer die an ihnen gesetzten Verletzungen sind. Sind sie auf einer grösseren Strecke

eröffnet und durchtrennt, so klappen ihre Wände unter dem Drucke der äusseren Luft leicht zusammen und die Blutung hält an.

Muss die Abtragung des Schädeldachs schnell vorgenommen und jede Blutung dabei vermieden werden, so ist es rathsam, vor der Eröffnung der Schädelhöhle mit einem glühenden Eisen einige Mal über die von Haut entblössten Schädelknochen in der Richtung des longitudinalen und transversalen Venensacks zu streichen. Dadurch gerinnt meistens das Blut in diesen Gefässen und die Entfernung des Schädeldachs kann sauber ausgeführt werden.

Der Gebrauch von blutstillenden Mitteln, wie Eisenchlorid, Pengavar Djambi, mit Eisenchlorid getränkte und dann getrocknete Papierpartikelchen (Dittmar) u. s. w., die man bei Operationen an anderen Theilen des Körpers wegen der Verunreinigung und Verunstaltung der Wunde besser vermeidet, ist bei einigen Operationen an der Schädelhöhle von grossem Nutzen. Besonders empfiehlt sich das Pengavar, das man in jedem Augenblick entfernen kann, ohne dass es die geringste Verunreinigung zurücklässt, welche dem weiteren Operiren hinderlich im Wege stehen könnte. Auch das Andrücken der Schwämmchen ist ein unschätzbares Hilfsmittel bei dieser Art Operationen; nur müssen die Schwämme hier in einer ganz anderen Weise verwendet werden als bei Vivisectionen an anderen Körpertheilen. Während sonst die Schwämmchen meistens benutzt werden, um das Blut schnell aus der Wunde aufzusaugen und so die Unterbindung des blutenden Gefässes zu erleichtern, dienen bei Operationen am Schädel die Schwämme meistens zur Compression der blutenden Theile. Das häufige Abwischen der Wunde muss hier also durch längeres unbewegliches Anlegen des Schwammes an die Wunde ersetzt werden. Häufiges Wechseln der Schwämme ist hier bei Vivisectionen sogar insofern schädlich, als durch fortwährendes Entfernen der in Gerinnung begriffenen Bluttheile die Blutung nur gefördert wird.

Die Befestigungsweise der Thiere muss die zu operirenden Theile ganz unbeweglich und den operirenden Instrumenten leicht zugänglich machen. Kaninchen und Hunde operirt man daher nur bei fixirtem Kopf, wozu die im ersten Capitel beschriebenen Halter sich ausgezeichnet eignen. Die gewöhnliche Lagerung des Kopfes mit nach vorne in horizontaler Richtung gezogener Schnauze muss oft durch schiefe, geneigte und andere Stellungen ersetzt werden.

Eine Kopfstellung, die sehr häufig bei Operationen am Schädel in Betracht kommt, ist die Neigung der Schnauze nach vorne und nach unten. Der Hinterkopf ist nach oben gerichtet und die obere Halsgegend wird bogenförmig gewölbt. Am Kaninchenhalter ist die Möglichkeit, diese Stellung dem Kopfe zu geben, durch die Fortsätze F und F_1 (Taf. VII Fig. 2) gegeben.

Steckt man in die Gabel $C\,D$ statt der Fortsätze F_2 und F_3 die obengenannten, wobei der Stab A natürlich an der Seite des Kaninchenbrettes angebracht wird, so kann man durch die Drehung des Stabes C in der Hülse O dem Kaninchenkopfe jede beliebige Neigung geben. (Ist am Kaninchenbrett der seitliche Stab Q vorhanden, so wird die Hülse O direct auf ihn aufgesetzt.)

Bei schwierigeren Operationen, wo eine absolute Bewegungslosigkeit des Schädels erforderlich ist, reicht oft einseitige Befestigungsweise allein nicht aus. Man bringt dann auch an der entgegengesetzten Seite des Halters zwei andere Fortsätze an, die man in derselben Weise fixirt.

Um dem Hunde ähnliche Kopfneigungen nach unten geben zu können, darf die Hülse *q* (Taf. VI Fig. 1) nicht, wie gewöhnlich, mit der Hülse *u* aus einem Stücke gegossen sein, sondern sie muss sich um dieselbe in einer verticalen Ebene drehen können, damit der in sie hineinpassende Stab *b* in jeder beliebigen Neigung zum Horizont in dieselbe eingesetzt werden könne.[1]) Durch Verschiebung der Hülse *n* nach unten und durch Drehungen der Hülse *q* können dem Hundekopfe beliebige Stellungen gegeben werden. Da der Hundehalter den Hundekopf absolut unbeweglich hält, so bedarf man keiner weiteren Fixirungsmittel.

Vögel befestigt man am besten, indem man sie in ein Handtuch einwickelt und durch ein Paar Nadelstiche den freien Rand des Handtuchs fixirt. Nothwendig ist es, um den Hals die Oeffnung so weit zu verengen, dass der Vogel weder seinen Kopf zurückziehen, noch den Körper durch diese Oeffnung vorzuschieben vermag. Den Kopf fixirt man, indem man den Schnabel zwischen Zeige- und Mittelfinger einklemmt, und zwar so, dass die Dorsalfläche des Zeigefingers unter dem Unterkiefer, die Volarfläche des Mittelfingers auf die Nasenseite des Schnabels zu liegen kommt. (Man muss dabei Acht geben, dass man die Nasenlöcher nicht zuschliesst). Mit dem Daumen und dem Ringfinger derselben Hand kann man dann die Kopfhaut spannen, Wundränder auseinanderziehen u. s. w. Bei länger dauernden Operationen, wo der Kopf genau fixirt werden muss, ohne durch Beengung der Thiere ihre Athmung zu hemmen, ist es oft vortheilhafter, den Kopf an den beiden Schläfenknochen mit dem Daumen und Zeigefinger der linken Hand festzuhalten.

Will man beide Hände bei der Operation freibehalten, so steckt man den Schnabel in einen kleinen, an beiden Seiten offenen Holztrichter und fixirt ihn dort mittelst eines Kautschukbändchens oder durch ein Paar Näthe durch die Kopfhaut.

Meerschweinchen und Fröschen kann die Schädelhöhle, entweder indem man sie in der linken Hand festhält oder auf die bekannte Weise fixirt, mit Leichtigkeit eröffnet werden.

Nur bei Katzen und bei Hunden ist die Anwendung der Trepanen zur sauberen Eröffnung der Schädelhöhle erforderlich. Bei Kaninchen kann man mit einem scharfen Scalpell oder einer feinen Knochenzange von der Form der auf Taf. I, Fig. 1 abgebildeten, in allen den Fällen zum Ziele gelangen, wo die Schädeleröffnung zum Zwecke der Entfernung des Gehirns gemacht wird. Soll an den Häuten oder an dem Hirne selbst operirt werden, so ist es auch bei Kaninchen vortheilhafter, wenigstens die erste Oeffnung mit Hilfe einer kleinen Trephine (Taf. II, Fig. 6) zu machen.

Nur bei ganz grossen Hunden mit dicken Schädelknochen kann man gezwungen werden, den auf Taf. III, Fig. 1 und 9 abgebildeten chirurgischen Trepan zu verwenden. In den meisten Fällen kommt man mit den kleinen der Taf. II, Fig. 6 und 8 vollkommen aus. Die bekannte Anwendungsweise des ersten Trepans gestattet aber auch dem weniger Geübten mit grösserer Sicherheit Verletzungen der Hirnhäute bei der Eröffnung der Schädelhöhle zu meiden. Der Hauptheil

1) Der Instrumentenmacher Hornn in Leipzig liefert jetzt nach meinem Modell construirte Hundehalter mit so eingerichteten Hülsen.

(Fig. 9) dieses Trepans gibt die Möglichkeit die Tiefe, bis zu welcher vorgedrungen werden soll, genau vorher zu bestimmen. Zu diesem Ende braucht man nur das ringförmige Ansatzstück aus Neusilber *b* dem gezahnten Rande des Trepans *a* soweit zu nähern als man vordringen will und es dann mittelst der Schraube *b'* in der gegebenen Stellung zu fixiren. Das Trepan wird auf den lanzettenartig zugespitzten Stiel *d* aus Stahl (Fig. 1) aufgesetzt und mit Hilfe der Schraube *a'* derart festgestellt, dass die Spitze *c* nur sehr wenig den gezahnten Rand überragt.

Da man die Dicke des Schädels nur mit annähernder Genauigkeit im Voraus schätzen kann, so thut man gut, zuerst den Wulst des Ringes *b* bis ganz nahe am Rande herunterzuschieben, und dann während des Trepanirens selbst ihn allmählich nach oben zu rücken. Die Spitze *c* des Trepans darf nur so viel über den Rand hervorragen, als gerade erforderlich ist, um dem Trepan einen festen Halt zu geben.

Beim Aufsetzen des Trepans muss noch darauf geachtet werden, dass der ganze gezahnte Rand gleichzeitig dem Knochen anliegt. Ist dies wegen der Schädelstelle unmöglich, so sucht man die Kraft mit welchem der Trepan angelegt wird, während des Trepanirens so zu reguliren, dass er immer schwächer wird, an den Stellen wo die Zähne zuerst eingegriffen haben und verstärkt in den späteren. Bei Nichtbeachtung dieser Regel kann man leicht durch den Widerstand, welchen die später angegriffenen Knochen bieten, getäuscht werden und mit dem entgegengesetzten Rande in's Gehirn hineinstossen.

Eine Vorsichtsmaassregel, die man bei dem Gebrauch des stärkeren Trepans (Fig. 1) nie unterlassen darf, ist, die Spitze *c* in den Trepan zurückzuziehen, nachdem derselbe schon soweit vorgedrungen ist, dass er keinen weiteren Halt durch die Spitze bedarf.

Welche Trepane man auch verwendet, man darf nur bei den ersten Bewegungen einigen Druck ausüben; bei der späteren Führung muss der Druck immer abnehmen und in den letzten Momenten ganz aufhören. Die Bewegungen des Trepans bestehen bekanntlich in Drehungen desselben von rechts nach links und in umgekehrter Richtung um seine senkrechte Axe. Hat man den Knochen mit dem Trepan durchsägt, so reinigt man die betreffende Stelle des Schädels mit einer kleinen Bürste von den Knochensplittern und hebt dann erst das ausgesägte Stück heraus. Dies geschieht am besten mit Hilfe zweier Pincetten, die den Knochen an gegenüberliegenden Stellen angreifen. Auch durch einen in die mittlere Oeffnung dieses Knochenstücks eingeführten Haken lässt es sich leicht herausholen.[1])

Soll darauf die Schädelöffnung erweitert werden, so geschieht dies am besten mit der Knochenzange. Mit derselben wird in der Weise operirt, dass man zuerst an zwei Stellen den Knochen durchbricht und dann das so isolirte Stück abhebt. Die Spitzen der Zange müssen dabei möglichst horizontal gehalten werden. (Der Trepanaufsatz der Fig. 2 derselben Tafel wird nur selten zur Eröffnung der Schädelhöhle verwendet werden. Dagegen kann man ihn da gebrauchen, wo es um Abhebung einer Knochenschicht zu thun ist.)

---

1) Die von Chirurgen dazu verwendete Schraubenvorrichtung kann man bei Vivisectionen sehr gut entbehren.

Bei Abtragung des Schädeldachs mittelst eines Scalpells muss die Führung des Schnittes sehr vorsichtig geschehen, um die Gehirnoberfläche nicht zu beschädigen. Auch dabei wird die Klinge möglichst flach aufgelegt und die Knochen lamellenweise abgehoben. Knochenbrücken, die dabei übrig bleiben, entfernt man mit der Zange.

Auch die kleine runde Säge (Taf. III Fig. 11) kann bei Eröffnung der Schädelhöhle benutzt werden, wenn es sich um Schädelstücke handelt, die wegen ihrer unregelmässigen Gestalt das Anlegen des Trepans unmöglich machen, wie z. B. die Umgegend des Os petrosum und einige Theile des Hinterkopfes.

Beim Frosche trägt man die Knochen, welche das Gehirn bedecken, am besten mit Hilfe einer kleinen Knochenzange ab. Die Haut wird in der Richtung des weissen Streifens, welcher in der Mittellinie des Kopfes auf Fig. 7 Taf. XXI gezeigt worden ist, durchschnitten. Darauf wird die Knochenlamelle mit einer kleinen Knochenzange erfasst und durch ein Paar Schnitte entfernt. Ist der Hautschnitt nicht zu weit nach hinten geführt, so verletzt man dabei gar keinen Muskel und verursacht keine Blutung. Die nach solcher Abtragung dem Beobachter vorliegenden Gehirntheile des Frosches sind auf Taf. XXIV Fig. 1 dargestellt. Man sieht die Nn. olfactorii (I) mit den beiden Lobi olfactorii (*L. o.*), die beiden grossen Hemisphären (*He*), die Glandula pinealis (*Hp*), den Thalamus opticus und die Corpora quadrigemina, die Lobi optici, das rudimentäre Kleinhirn (*c*) die Medulla oblongata und den Sinus rhomboidalis (*S. rh.*)

Das weitere Operiren an dem entblössten Gehirn geschieht in verschiedener Weise, je nach dem Zweke des Versuchs. Sollen bei einem Thiere die grossen Hemisphären theilweise oder ganz entfernt werden, so geschieht dies am besten, indem man den zu entfernenden Theil mit einem scharfen Messer von den umringenden Theilen isolirt und ihn dann am einfachsten mit dem Messerstiele oder einer Spatel heraushebt und entfernt. Sollen beide Hemisphären im Ganzen ausgeschält werden, so geschieht dies am besten mit Hilfe eines breiten löffelartigen Spatels. Vorerst wird der stumpfe Rand des Instrumentes so um das Gehirn geführt, dass es von den abgehenden Nerven etc. ganz getrennt ist. Sodann durchschneidet man seine Verbindungen mit dem Hirnstiele an der gewünschten Stelle mit Hilfe eines scharfen Scalpells und holt dann das so losgetrennte Gehirn mit dem Spatel heraus.

Wird dabei mit dem Instrumente die Basis cranii möglichst geschont, so gelingt das Entfernen dieses Theils des Gehirns meistens ohne besonders in Betracht zu ziehende Blutung. Die kleine etwa doch entstehende Blutung wird dadurch gestillt, dass an die Basis cranii kleine Schwämmchen angedrückt werden. Dieselben dürfen aber weder zu gross genommen werden, noch die noch erhaltenen Gehirntheile irgendwie zusammendrücken. Im entgegengesetzten Falle füllen die mit Blut sich durchtränkenden Schwämme die Schädelhöhle bald aus und erzeugen durch ihre Volumzunahme eine schädliche Compression und Reizung auf die erhaltenen Hirntheile, welche die gefährlichsten Folgen für den Ausgang der Operation haben können.

Sind die beiden Grosshirnlappen entfernt, so beobachtet man eine Reihe von Erscheinungen am Thiere, die von Flourens, Magendie, Longet u. A. ganz übereinstimmend beschrieben worden sind.

Die classische Beschreibung von Flourens veranschaulicht am besten das Bild, welches eine Taube (das am meisten dazu verwendete Thier) nach einer solchen Abtragung darbietet:

„Il se tenait très bien debout; il volait quand on le jétait en l'air; il marchait quand on le poussait; l'iris de ses deux yeux était très mobile, et pourtant il ne voyait pas; il n'entendait pas, ne se mouvait jamais spontanément, affectait presque toujours les allures d'un animal dormant ou assoupi; et quand on l'irritait, durant cette espèce de léthargie, il affectait encore les allures d'un animal qui se réveille."

„Dans quelque position qu'on le mît, il reprenait parfaitement l'équilibre, et ne se reposait pas qu'il ne l'eût repris."

„Je le plaçais sur le dos, et il se relevait; je lui mettais de l'eau dans le bec, et il l'avalait; il résistait aux efforts que je faisais pour lui ouvrir le bec; il se débattait quand je le gênais; il rendait ses excréments; la moindre irritation l'agitait et l'importunait."

„Lorsque je l'abandonnais à lui seul, il restait calme et comme absorbé; dans aucun cas, il ne donnait aucun signe de volonté. En un mot, figurez-vous un animal condamné à un sommeil perpétuel, et privé de la faculté même de rêver durant ce sommeil: tel, à peu près, était devenu le pigeon auquel j'avais retranché les lobes cérébraux."

Die Prüfung der Irisverengerung geschieht mit Hilfe des Lichtreizes, die des Gehörs durch einen kräftigen Schlag, wie z. B. den Schuss einer abgefeuerten Pistole. Um den möglichen Reiz durch die Lufterschütterung zu vermeiden, schützt man das Thier durch eine unbewegliche Platte vor dieser Erschütterung. Die Geschmacksempfindungen werden durch Anbringung der Coloquinten auf die Zunge geprüft.

Das leise Kneifen oder Streichen verschiedener Hautstellen genügt, um Reflexbewegungen hervorzurufen. Versuche über Flugbewegungen werden am besten einige Tage nach der Operation angestellt, da gleich nach der Operation die zu heftigen Bewegungen starke Blutungen veranlassen können.

Für das Erhalten der enthirnten Vögel am Leben sind Reinhaltung der Wunde und sorgfältige Fütterung die unerlässlichsten Bedingungen. Sogar die Blutgerinnsel müssen so weit als möglich von der Schädelhöhe entfernt und die Wunde durch eine sorgfältig angelegte Nath verschlossen werden. Die Fütterung muss man selbst überwachen und sind bei derselben zu heftige Erschütterungen des Thieres, besonders stärkere Kopfverdrehungen bei Einführung des Futters u. s. w., zu meiden.

Es ist rathsam, keine zu grosse Menge Futter mit einemmal einzuführen, sondern dies zwei bis drei Mal täglich mit kleinen Mengen zu thun.[1])

Der Tod tritt bei sorgfältig operirten und gut gepflegten enthirnten Vögeln sehr spät (nach 6—8 Monaten) ein und auch meistens durch irgend hinzutretende Nebenumstände.

Kaninchen vertragen die Operation ohne lebensgefährliche Störungen nur so lange sie in einer Weise überwacht werden, dass keine neuen Veranlassungen zu

---

1) Ueber künstliche Fütterung von Vögeln siehe Mac-Gillivray „British Birds". Vol. I.

Blutung durch heftige Bewegungen u. s. w. auftreten. Solche Bewegungen sind aber meistens nicht zu umgehen, weil man schon mehrere Stunden nach der Operation sieht, dass bei ihnen heftige Zwangsbewegungen und Krämpfe auftreten, die durch Reizungen der erhaltenen Hirntheile, vielleicht durch sich bildende Entzündungsprocesse hervorgerufen werden. Länger als zwei Tage ist es mir nie gelungen, ein Kaninchen ohne Grosshirnlappen beim Leben zu erhalten. Bei vorsichtiger Ausführung der Operation ist die Blutung auch bei Kaninchen oft so gering, dass, wie ich mich mehrmals überzeugt habe, gar keine merkliche Verminderung des Blutdrucks nach der Enthirnung erfolgt.

Wie schon Magendie beobachtet hat, übt die ausgiebige Athmung einen sehr günstigen Einfluss auf den Stillstand der Blutungen bei Hirnoperationen. Er schlägt daher vor, sofort nach Entfernung des Gehirns das Thier loszubinden und frei zu lassen. Vielleicht rühren die geringen Blutverluste, die man bei solchen Operationen bei Gelegenheit der Blutdruckversuche zu erhalten pflegt, von der ausgiebig unterhaltenen künstlichen Respiration her.

Abtragung einzelner oberflächlich gelegener Theile des Grosshirns verlangt natürlich kleinere Oeffnungen im Schädeldach. Bei jungen Thieren (Hunden und Kaninchen) kann man die Wunde nach Entfernung eines Stücks der Gehirnrinde durch das mit dem Messer abgetragene Stück des Schädeldachs verschliessen und nach Anlegung einer Nath zur Heilung bringen. Sehr zweckmässig ist das von Gudden bei seinen schönen Untersuchungen über die secundären Atrophien nach Abtragung verschiedener Hirntheile benutzte Verfahren. Neugeborenen Hunden wird durch einen Schnitt in eine Schädelnath ein Schädelknochen emporgehoben, das betreffende Hirnstück herausgeschnitten und der unverletzte Knochen in seine normale Lage zurückgebracht. Die Heilung geschieht in kürzester Zeit in ganz vollkommener Weise.

Mit stärkeren Blutungen ist die Blosslegung des Kleinhirns verbunden. Aber auch diese können bedeutend vermindert werden, wenn man bei Abtragung der entsprechenden Schädeldecken es vermeidet, den transversalen Sinus zu verletzen.

Man operirt zu diesem Zwecke unterhalb des Verlaufs dieses Sinus und zwar je nach dem Zweck der Operation entweder an den beiden Seiten des Occipitalhöckers oder, wenn das ganze Kleinhirn entfernt werden soll, indem man das dem Occipitalloche anliegende Knochenstück aussägt. (Siehe auch § V.)

Zerstörung von Hirntheilen durch Einspritzungen concentrirter Säuren (Nothnagel, Fournier u. A.) gehören zu den vieldeutigsten Operationsverfahren. Dasselbe gilt auch von den localen Zerstörungen durch heftige Kältewirkungen. Das Entfernen mit dem Messer hat diesem Eingreifen gegenüber den bedeutenden Vorzug, dass man dabei immer genau weiss, was wirklich entfernt worden ist. Zerstörungen durch sich diffus verbreitende Flüssigkeiten gestatten dagegen keine Localisation. Die mikroskopische Untersuchung ist dabei nur eine ungenügende Controlle, da viele Ganglienhaufen und Fasern durch die Flüssigkeit gelähmt oder gereizt werden können, ohne dabei sichtbare Structurveränderungen erkennen zu lassen.

Reizungen des Grosshirns mit elektrischen Strömen sind, nachdem sie lange für unwirksam gehalten, in der neuesten Zeit von Fritsche und Hitzig, von Ferrier, Schiff u. A. in grosser Anzahl ausgeführt worden. Bei der Discus-

sion, die über die Deutung der beobachteten Erscheinungen noch zwischen diesen Beobachtern herrscht, lässt sich jetzt kein definitives Urtheil über die Verwerthbarkeit solcher Reizversuche fällen.

Sollte der von Hermann gelieferte Beweis gegen die Zulässigkeit der bis jetzt gegebenen Deutung solcher Versuche sich auch für die übrigen Theile des Grosshirns bestätigen, so wird das jedenfalls die Bedeutung solcher Reizungen sehr einschränken. Wenn durch Säure zerstörte Hirntheile bei denselben Stromesstärken wirklich dieselben Erscheinungen zu Tage treten lassen, wie beim unversehrten Gehirne, so wird damit ein genügender Grund gegeben, solche Reizungen besser zu meiden.

Besser als durch Zerstörung mit Säuren würde die hier in Betracht kommende Frage sich entscheiden lassen, wenn man die in den Grosshirnlappen vermutheten motorischen Centren mit einem Messerschnitt zuerst vorsichtig ausschälte und dann in die frühere Lage zurückbrächte. Würden jetzt auch viel stärkere elektrische Ströme die früher beobachteten Erscheinungen nicht mehr hervortreten lassen, so wäre damit jedenfalls die Richtigkeit der gezogenen Schlüsse bewiesen.

Das Fortbestehen des Effectes bei gleich starker Reizung würde im Gegentheil die gegebene Deutung sehr unwahrscheinlich machen.

§ 11. Operationen an den Hirnnerven.

Durchschneidungen, Ausreissungen und Reizungen der Hirnnerven bei erwachsenen Thieren gehören fast sämmtlich zu den schwierigsten und auch zu den vieldeutigsten Vivisectionen.

Diese Schwierigkeiten rühren sowohl von der verborgenen und geschützten Lage der meisten dieser Nerven, als auch davon her, dass viele dieser Nerven an verschiedenen Stellen ihres Verlaufs zu nahe aneinander gelagert sind, um ein sicheres isolirtes Operiren zu gestatten.

Am wenigsten Veranlassung zu Missdeutungen geben die reinen Durchschneidungen. Diejenigen Nerven, welche intracraniell, oder sonst nach ihrem Austritte aus der Schädelhöhle durchschnitten werden können, lassen fast immer die von ihrer Lähmung abhängigen Erscheinungen erkennen. Dagegen sind Ausreissungen von Nerven wegen der damit verknüpften Zerrungen benachbarter Nerven, sowie der umliegenden Hirntheile meistens von vielen Nebenerscheinungen begleitet, die wenigstens sofort nach der Operation kein reines Bild liefern. Bei gelungener Ausführung der Operation verlieren sich aber die Nebenerscheinungen einige Tage nach derselben und man kann den erzeugten Effect isolirt beobachten.

Eine isolirte elektrische Reizung bei Hirnnerven an der Basis cranii ist auch dann meistens unmöglich, wenn die Hemisphären oder Theilstücke derselben entfernt worden sind. Dennoch lassen sich solche Reizungen meistens mit Nutzen ausführen, um die Thätigkeit gewisser Nerven zu demonstriren, und zwar hauptsächlich darum, weil die wegen ihrer nächsten Nachbarschaft mitgereizten Nerven meistens so verschiedenen Functionen vorstehen, dass sie den gesuchten Effect nicht zu verhüllen vermögen.

Bei neugeborenen Individuen, Hunden oder Kaninchen, bieten die Durchschneidungen und Ausreissungen der Hirnnerven keine Schwierigkeiten, da die

Schädelknochen überall leicht mit einem Messer zu öffnen sind und nach ausgeführter Operation sehr schnell zuheilen.

Um bei Thieren den N. olfactorius zu lähmen, muss man wegen seines eigenthümlichen Verlaufs die Schädelhöhle eröffnen und die Bulbi olfactorii durchschneiden. Bei neugeborenen Thieren ist dies sehr leicht auszuführen, indem man bei ihnen den Frontalknochen durch einen kleinen Schnitt in der Sutura frontalis öffnet, diese Bulbi durchschneidet und die Wunde von Neuem schliesst (Biffi). Schwieriger ist diese Operation bei grösseren Thieren. Das am meisten zu empfehlende Verfahren besteht darin, das Os frontale ganz vorne zu trepaniren und zwar nur so weit seitlich, um den übrigens wenig blutenden Sinus frontalis zu umgehen. Ein Neurotom (Taf. II Fig. 1 und Taf. I Fig. 12) kann durch die Trepanationsöffnung eingeführt werden und die beiden Lobi auf dem Siebbeine durchschneiden. Auch deren volle Zerstörung kann auf diese Weise ohne besondere Schwierigkeiten erreicht werden. Den Verlauf der Lobi olfactorii siehe Taf. XXXV Fig 2 (A).

Der N. opticus lässt sich in der Schädelhöhle nur sehr schwer ohne Mitverletzung wichtiger Nebentheile und ohne grössere Blutungen durchschneiden. Dagegen bietet seine Durchschneidung in der Augenhöhle gar keine Schwierigkeiten. Man führt ein feines Messerchen (Taf. I Fig. 12) zwischen dem Augapfel und dem Augenlide neben dem Processus supraorbitalis post. ossis frontis und geht längs der hinteren Wand der Orbita zum Nerven, den man mit einem kräftigen Schnitt durchtrennt. Kommt es darauf an, so wenig als möglich von den nebenliegenden Theilen zu verletzen, so muss die Schneide des Messerchens nur ein Paar Millimeter Länge haben.

Von den Bewegungsnerven des Auges ist der N. oculomotorius derjenige, welcher am häufigsten Gegenstand experimenteller Prüfung ist. Ohne Eröffnung der Schädelhöhle den Oculomotorius zu durchschneiden gelingt fast nie, weil die Verletzung der Art. carotis interna im Sulcus caroticus dabei unvermeidlich ist. Dagegen gelingt die Ausreissung dieses Nerven, obgleich auch nicht ohne einige Schwierigkeit. Das von Cl. Bernard dazu vorgeschriebene Verfahren besteht in Folgendem.

Ein starker Haken, von der Form des auf Taf. II Fig. 1 abgebildeten, wird durch die äussere Wand der Orbita in die mittlere Schläfengrube eingestossen. Durch vorsichtiges Weiterschieben sucht man den Rand der Sella turcica auf und erfasst den Oculomotorius, der hier frei an der Vorderfläche der Falte der Dura mater zu liegen kommt. Bei seinem Ausreissen kann der Ramus ophthalmicus mitverletzt werden. Man erkennt dies an einem heftigen Schrei des Thieres.

Die fast vollständige Unbeweglichkeit des Augapfels, die Erweiterung der Pupille, das Herunterfallen des oberen Augenlids zeigen das Gelingen der Operation an. Man prüft die Beweglichkeit des Augapfels am leichtesten dadurch, dass man dem Thiere passive Bewegungen mit dem Kopfe von rechts nach links und umgekehrt macht: die einzige Bewegung, welche der Augapfel dabei noch ausführen kann, ist ein kleines Zucken nach aussen.

Um den Oculomotorius (*C* Taf. XXV Fig. 2) zu reizen, muss man die Schädelhöhle öffnen und die Grosshirnhemisphären entfernen.

Um eine wenigstens annähernd isolirte Reizung zu ermöglichen, muss jede Verletzung des Sinus cavernosus vermieden werden. Die Blutung aus der Art. cerebri post. wird, durch Andrücken eines Schwämmchens, in einigen Minuten zum Stillstand gebracht. Erst darauf wird zur Aufsuchung des Oculomotorius geschritten, den man am besten an der Sella turcica aufsucht. Während die hinteren Hirnpartien durch einen sehr leisen Druck mit einem flachen Schwämmchen nach hinten gedrängt werden, wird der Nerv auf die Elektroden genommen. Gute Beleuchtung des Schädelgrundes ist durchaus erforderlich.

Soll die Reizung des Oculomotorius längere Zeit fortgesetzt werden, so ist es rathsam, vor der Oeffnung der Schädelhöhle beide Carotides am Halse zu unterbinden und zur Vorsicht eine Athmungscanüle in die Trachea einzusetzen, um im Nothfalle die künstliche Respiration einleiten zu können. Die grösste Störung wird bei solcher Reizung durch die nicht selten dabei von den Stromschleifen auf die Medulla verursachten Krämpfe des ganzen Rumpfes gegeben. Die Elektroden gleiten dann vom Nerven leicht ab und treffen die neben dem Oculomotorius verlaufenden Abducens, Trochlearis und Ophthalmicus.

Man könnte versuchen nach vorheriger Unterbindung der Carotiden und der Vertebrales das Kaninchen mit Curare zu vergiften. Durch die Aufhebung der Circulation in den Kopftheilen müsste es gelingen, die vom Oculomotorius abhängigen Augenmuskeln gegen die Wirkung dieses Giftes zu schützen. Die dabei erzielte Beseitigung von Blutungen würde auch für die Isolation des Oculomotorius förderlich sein.

Eine isolirte Durchschneidung des Abducens und des Trochlearis in der Schädelhöhle ist unmöglich. In den Augenhöhlen lassen sich diese Nerven, besonders der erstere, schon eher trennen. Aber auch hier ist eine Mitdurchschneidung einiger Augenmuskeln nicht zu umgehen, wodurch selbstverständlich schon der Zweck der Nervendurchtrennung vereitelt wird. Gereizt werden diese Nerven in der Schädelhöhle in derselben Weise wie der N. oculomotorius.

Durchschneidungen und Reizungen des N. trigeminus oder seiner Zweige bei geöffneter Schädelhöhle bieten wegen seiner ausserordentlichen Stärke keine anderen Schwierigkeiten, als die durch die Entfernung der Hemisphären bedingten. Auch diese werden durch zeitweilige Unterbindung der Carotiden bedeutend verringert. Aber auch die Durchschneidung innerhalb der Schädelhöhle ohne Eröffnung derselben ist eine leicht auszuführende Operation, die bei einiger Uebung nur selten misslingt. Das zweckmässigste und leichteste Verfahren, diesen Nerven zu durchschneiden, ist das von Cl. Bernard geübte. Die Bernard entlehnte Fig. 2 auf Taf. XXXV veranschaulicht die Ausführungsweise der Operation.

Man kann zu derselben Messerschen von verschiedener Form benutzen. Das Instrument, welches auf der erwähnten Figur abgebildet ist, eignet sich zwar ganz gut, doch kann die Operation auch mit jedem beliebigen Scalpell, das eine kurze gerade Schneide und eine scharfe Spitze besitzt (Taf. I Fig. 12), ausgeführt werden.

Welches Instrument man aber auch benutzt, immer ist es nothwendig, vorher das Instrument auf die gleich zu beschreibende Weise in die geöffnete Schädelhöhle eines Kaninchens einzuführen und durch eine Marke an der Klinge die Länge festzustellen, bis zu welcher es eingeführt werden muss, um gerade den Trige-

minus zu treffen. Es ist noch vortheilhafter, nach dem Vorgange von Longet, einen, durch einen Schraubengang verschiebbaren Ring an der Klinge anzubringen, um deren weiteres Vordringen unmöglich zu machen.

Man bindet das Kaninchen an das gewöhnliche Brett mit Hilfe des Czermak'schen Kopfhalters fest, fixirt ausserdem den Kaninchenkopf mit der linken Hand und zwar so, dass der Daumen dieser Hand auf den Condylus maxillae inf. zu liegen kommt. Man fühlt diesen Condylus als Vorsprung gerade vor dem Ohre durch und bedient sich seiner als Anhaltpunktes beim Einstossen des Messers. Man trennt diesen letzten hinter diesem Vorsprunge, in dem Zwischenraume zwischen ihm und dem Beginn des knöchernen Ohrenganges. Um in die mittlere Schläfengrube zu gelangen, führt man das Instrument etwas nach vorne und nach oben gerichtet. Damit wird das Felsenbein vermieden und das Messer direct in die Schädelhöhle geführt.

Hat man den Schädelknochen durchbrochen, so drückt man die Schneide gegen die vordere Fläche des Felsenbeins, dessen unteren Rand man als Führung beim vorsichtigen weiteren Vorrücken benutzt. Sobald man fühlt, dass beim weiteren Vordringen der Widerstand des Knochens verschwindet, muss man anhalten. Man hat dann den Trigeminus unter dem Messer. Indem man nun den Kopf des Thieres stark festhält, wird die Schneide des Messers nach hinten und nach unten gerichtet und in dieser Stellung stark an die Basis cranii gedrückt. Der Nerv wird dann meistens hinter dem Ganglion Gasseri durchschnitten, was sich durch einen heftigen Schmerzensschrei des Thieres kundgibt. Ehe man das Instrument auf demselben Wege zurückzieht, überzeugt man sich durch Berühren der Augenfläche sowie durch Kneifen der Haut an der entsprechenden Gesichtshälfte, ob die Durchschneidung auch vollkommen gelungen ist.

Ist das Instrument zu weit nach innen vorgeschoben, so kann man die Carotis verletzen; mehr nach vorne liegt der Sinus cavernosus, der auch mitverletzt werden kann. Während diese beiden übrigens seltenen Zwischenfälle die Operation vereiteln, da das Thier bald an Verblutung zu Grunde geht, ist eine andere störende Complication von geringerem Nachtheile. Das ist die Verletzung des Pedunculus cerebri, wenn die Schneide zu hoch, des Pedunculus cerebelli, wenn sie zu weit nach hinten geführt wurde. Die eintretenden Manegebewegungen resp. die Drehungen um die Längsachse stören weiter die Beobachtung nicht. Sie verlieren sich meistens auch nach ein Paar Tagen. Nicht immer wird der ganze Trigeminus dabei durchschnitten; meistens trifft man nur den N. ophthalmicus und den Maxillaris superior.

Durchschneidungen und Reizungen dieser Nerven bei geöffneter Schädelhöhle werden in derselben Weise wie bei den entsprechenden Operationen am Oculomotorius ausgeführt.

Auch beim Frosche kann man den N. trigeminus durchschneiden. Ein dazu von Budge angegebenes Verfahren besteht in Folgendem: [1])

Man wickle den ganzen Frosch gut ein, so dass nur der Kopf frei bleibt, oder ätherisire ihn, öffne dann den Unterkiefer so weit als möglich, ziehe die

---

1) Aus einer freundlichen Zuschrift des Herrn Professor Budge.

Zunge etwas vor und lasse dieselbe mit einem Häkchen halten oder stecke sie an. Sodann trenne man die Schleimhaut des Gaumens bis hinter der Orbita durch einen Kreuzschnitt und setze die beiden Spitzen einer kleinen, gewöhnlichen, ziemlich starken Scheere genau an dem inneren hinteren Winkel der Orbita vertical ein. Die Spitzen dürfen nicht weiter als 2—3,5 mm. von einander abstehen. An diesem eben bezeichneten Winkel entspringt ein zum Auge hingehender Muskel (Sustentator bulbi), der beim ersten Blick in die Augen fällt. In diesen Muskel greift die Scheere ein. Der genannte Winkel der Orbita wird von dem Os sphenoideum und petrosum gebildet. Wenn nun die Scheerenblätter geschlossen werden, so zerschneidet man dadurch den N. trigeminus so, dass das Ganglion Gasseri gewöhnlich mitten durchtrennt wird. Es werden dabei weder der N. oculomotorius, der am nächsten liegt, noch die Corpora quadrigemina verletzt. Sollte letzteres geschehen sein, so bemerkt man dies durch die Drehbewegungen und das Liegen nach einer Seite hin.

Nach der Operation scheint das Thier gewöhnlich sehr angegriffen, lässt den Unterkiefer der operirten Seite hängen, selbst die Mundhöhle noch einige Zeit geöffnet. Sehr bald verengt sich die Pupille, und nachdem das Thier sich wieder vollkommen erholt hat, kann man sich durch die Gefühllosigkeit des Auges der operirten Seite überzeugen, ob die Operation gelungen ist.

Wurde bei der Durchtrennung des N. trigeminus in der Schädelhöhle der R. maxillaris infer. mit durchschnitten, was sich durch die Lähmung der Kaumuskeln kundgibt, so muss das Thier künstlich gefüttert werden, sonst geht es nach einiger Zeit wegen mangelhafter Ernährung zu Grunde.

Von den Zweigen des Trigeminus ist der Ramus lingualis derjenige, welcher am häufigsten zu physiologischen Versuchen benutzt wird. Das Verfahren zu seiner Blosslegung ist ausführlich bei den Versuchen über die Speichelsecretion beschrieben (S. 267 u. f.). Dort ist auch auf S. 272 die Operationsmethode für die Reizung des N. auriculo-temporalis angeführt.

Der N. facialis kann in der Schädelhöhle, in der Paukenhöhle oder sofort nach dem Durchtritt durch das Foramen stylohyoideum durchschnitten werden. Die Durchtrennung in der Schädelhöhle ist nur bei Eröffnung derselben und Entfernung der Hemisphäre mit Sicherheit auszuführen.

Wird die Durchschneidung in der Schädelhöhle ohne Eröffnung vorgenommen, so wird der Acusticus und der N. Wrisbergii immer mit durchtrennt. Meistens aber geht das Thier zu Grunde wegen starker intracranieller Blutungen aus dem Sinus transversus; auch das Kleinhirn und der Pons Varoli werden mit verletzt. Die Einführung des Neurotoms zu solcher Durchtrennung geschieht durch die Fovea mastoidea oss. temporum (Siehe die Einstichstelle XXX auf Taf. XXVI Fig. 5) dicht am oberen und hintern Winkel des äusseren Ohres.

Viel sicherer ist seine Durchtrennung in der Paukenhöhle, obgleich auch sie mit grossen Nebenzerstörungen verknüpft ist. Das dafür vorgeschlagene Verfahren rührt von Cl. Bernard her. Mit einem kräftigen, scheerenartig gestalteten Instrumente dringt man in die Paukenhöhle durch die dünnere untere Wand ein. Ist man in das mittlere Ohr gelangt, so richtet man die Spitze des Instruments nach oben und hinten und drückt es fest an den Knochen. Wird der Facialis hier durchtrennt, so bleibt der Acusticus dabei unberührt, weil an dieser Stelle

schon die dritte Biegung des Facialis nahe seiner Austrittsstelle getroffen wird. Leichter ist es, den Facialis zu durchschneiden, wenn man die Spitze des Instruments gegen die obere und vordere Wand des mittleren Ohres richtet; man trifft ihn da an der Stelle, wo er eben in den Kanal nebst dem Acusticus eintritt. Dieser letztere Nerv wird aber dabei mit verletzt.

Viel vortheilhafter ist es, den N. facialis an seiner Austrittsstelle aus der Schädelhöhle aufzusuchen und ihn hier mit einer starken Pincette auszureissen.

Diese Operation gelingt besonders leicht bei Kaninchen und Katzen. Durch einen Hautschnitt dicht unterhalb des leicht durchzufühlenden unteren Randes des äusseren knöchernen Gehörganges dringt man, den M. paroticoauricularis anterior durchtrennend und die Parotis bei Seite schiebend, zum N. facialis vor. Man ergreift ihn dann mit einer kräftigen Pincette und zieht ihn unter torquirenden Bewegungen aus der Schädelhöhle heraus. Sehr häufig wird der N. Wrisbergii dabei mit herausgerissen. (Siehe den Verlauf dieses Nerven nach Krause beim Kaninchen auf Taf. XXV Fig. 6 [1]).

Die Zweige des Facialis, welche bei physiologischen Versuchen am häufigsten in Betracht gezogen werden, sind die Chorda tympani und die Nn. petrosi.

Die Operationen an dem ersteren dieser Nerven sind schon im Cap. IV § I ausführlich behandelt worden. Hier soll nur die Methode angegeben werden, diesen Nerven in der Paukenhöhle zu durchtrennen. Mit einem scharfen Neurotom wird durch das Trommelfell in die Paukenhöhle gedrungen, und indem man dessen Schneide nach oben richtet, wird das Messer mit einiger Kraft zurückgezogen. Es ist fast unmöglich dabei die Chorda tympani zu verfehlen.

Viel schwieriger ist die Durchschneidung des N. petrosus bei geschlossener Schädelhöhle, obgleich nach mehrfacher Uebung auch diese Operation gelingt.

Das Neurotom wird an derselben Stelle, wie bei der Durchschneidung des Trigeminus, dicht vor dem knöchernen Rande des äusseren Gehörganges in die Schädelhöhle gestossen. Man gelangt dann auf die oben beschriebene Weise bis zum Trigeminus, dessen Berührung sich wie immer durch einen Schrei des Thieres kundgibt. Das Neurotom wird darauf etwa 1 Millimeter zurückgezogen, die Schneide mit Kraft an die Schädelbasis gedrückt und das Messer mit stark gegen den Rand des Felsenbeins anliegender Schneide aus der Schädelhöhle herausgeführt. Der N. petros. minor wird auf diesem Wege von der Schneide getroffen und durchschnitten (Schiff).

Die Operation kann nur bei Kaninchen mit Erfolg ausgeführt werden. Eine sofort nach Durchschneidung eintretende Verstärkung der Secretion aus der Parotis, welcher später deren Stillstand folgt, zeigt an, dass die Operation gelungen ist.

Den N. acusticus isolirt zu durchtrennen, ohne dabei gleichzeitig entweder das Ohrenlabyrinth oder das Kleinhirn zu verletzen, ist bis jetzt Niemand gelungen. Da aber diese Durchtrennung jetzt nur im Interesse der Frage über die Rolle des

---

1) Fig. 6 auf Taf. XXXV zeigt nach Cl. Bernard den Verlauf dieser Nerven beim Esel. *A* ist der N. acusticus; *F* der Facialis; *G* der Vagus; *H* der Glossopharyngeus; *W* der Accessorius Willisii; *E* sind die Nn. petrosi; *J* das Ggl. jugulare des Vagus; *jj'* Anastomosen zwischen Vagus und Facialis; *a* Nervus Wrisbergii; *a'* eine Anastomose zwischen Facialis und Glossopharyngeus; *b* zwischen Facialis und dem Ggl. jugulare; *f* der M. stapedius.

Acusticus bei den Bewegungsstörungen, welche durch Verletzungen der Bogengänge entstehen, noch angeführt zu werden verdient, so sind selbstverständlich die bisherigen Durchschneidungsmethoden alle unbrauchbar.[1]) Als einziger Weg den Acusticus ohne diese störenden Mitverletzungen zu durchschneiden, ist das Eindringen in die Schädelhöhle zwischen Occipitalknochen und Atlas nach vorheriger sorgfältiger Spaltung der Membrana obturatoria. Die Medulla oblongata vorsichtig bei Seite schiebend, kann man auf diesem Wege zu dem Acusticus gelangen und ihn durchschneiden.

Der Glossopharyngeus kann ohne besondere Schwierigkeiten bei Kaninchen, Katzen, Hunden und sogar bei Pferden ausgerissen werden. Die Präparationsweise kann verschieden gewählt werden. Entweder man legt einen Schnitt an der Seite des Kehlkopfs, wie bei der Präparation des obersten Halsganglions an, folgt der A. carotis bis zu ihrer Theilung in die Carotis ext. und int. und findet den Glossopharyngeus nach innen von der Carotis interna. Wegen der grossen Zahl der hier zusammentreffenden Nerven und Gefässe ist die Isolation des Nerven hier mit grossen Schwierigkeiten verbunden. (Siehe Taf. XIV Fig. 1 und 2, Taf. XV Fig. 1.)

Eine andere Präparationsweise ist daher vorzuziehen, welche der oben (S. 199) für die Aufsuchung des N. auricularis magnus gegebenen nachgeahmt ist. Der Hautschnitt wird etwas näher dem Unterkieferwinkel geführt als dort, der obere Ansatz des Sternomastoideus nach aussen gedrängt und in der Tiefe der Glossopharyngeus aufgesucht. Fig. 1 Taf. VII zeigt diesen Nerven dicht unterhalb des Facialis (*f*) nahe seinem Austritte durch das Foramen jugulare. An dieser Stelle wird er mit einer Pincette erfasst und unter torquirenden Bewegungen aus der Schädelhöhle herausgerissen.[2])

Die Trennung des N. accessorius Willisii kann in doppelter Weise geschehen, entweder auf die von Bischoff zuerst angegebene Weise, indem die Membrana obturatoria durchtrennt und der Nerv bei seinem Austritt aus der Medulla aufgesucht wird, oder nach der Bernard'schen Methode, nach welcher man den R. externus accessorii an seiner Eintrittsstelle in den Sternomastoideus aufsucht, und von ihm geleitet den Nerv bis zu seinem Austritte aus der Schädelhöhe isolirt. Obgleich auch die erstere Operationsweise keine solchen Schwierigkeiten mehr bietet, welchen die ersten Experimentatoren begegnet sind, und auch sie mit Leichtigkeit sogar bei Kaninchen sich ausführen lässt, so ist doch das Bernard'sche Verfahren insofern vorzuziehen, als die Thiere die Operation viel leichter und länger überleben.

Durch einen Hautschnitt, welcher vom Processus mastoideus bis etwas unterhalb des transversalen Fortsatzes des Atlas sich erstreckt, wird der Ramus externus N. accessorii nahe seiner Eintrittsstelle in den Musculus sternomastoideus aufgesucht. Die obere Partie dieses Muskels wird bei Seite geschoben und der

---

1) Auch das Ausreissen des Acusticus beim Eindringen durch die Vena mastoidea, wie es Cl. Bernard beim Ausreissen des Facialis einige Mal gelungen ist, kann hier nicht in Betracht kommen.

2) Fig. 6 derselben Tafel zeigt nach Lovèn die Verbindungen des Glossopharyngeus mit dem Facialis und dem Vagus beim Kaninchen.

Ramus externus auf einen Faden genommen. Man bedient sich dann dieses Nerven als Führers, um zu der Austrittsstelle des Accesorius aus der Schädelhöhle zu gelangen. Man gelangt bald zu den Nn. vagus und hypoglossus, sucht den zum ersteren dieser Nerven abgehenden Ramus internus auf, nimmt auch ihn auf denselben Faden, der den externus trägt, und sucht die Austrittsstelle des Accessorius möglichst von den benachbarten Weichtheilen zu isoliren. Man ergreift dann diese beiden Zweige mit einer starken nicht gezahnten Pincette und zieht den Accessorius unter torquirenden Bewegungen heraus.

Es gelingt auf diese Weise, sowohl seinen Ursprung aus dem Cervicaltheile des Rückenmarks, als aus der Medulla oblongata herauszuholen, wovon man sich leicht überzeugt, wenn man den herausgerissenen Nerven ins Wasser taucht. Wird nur der Ramus externus gezogen, so sollen nach Cl. Bernard nur die Cervicalursprünge, wird der Internus gezogen, nur die Medullarursprünge herausgerissen werden.

Um bei Kaninchen den Accessorius herauszureissen, verfahre ich in von der Bernard'schen etwas abweichender Weise. Während Bernard den Schnitt zwischen Processus mastoideus und Atlas führt (also ähnlich wie zur Präparation des N. auricularis magnus), mache ich den Hautschnitt am oberen vorderen Halstheile. Das Kaninchen wird auf dem Rücken mit stark nach vorn gezogenem Kopfe befestigt. Der Hautschnitt von etwas weniger als 2 Centimeter Länge wird von oben innen nach aussen unten geführt und zwar etwa von dem Horne des Zungenbeins beginnend zum inneren Rande des Sternomastoideus. Man trifft auf diese Weise sofort den R. externus n. accessorii (*h* Taf. XIV Fig. 1) [1]), der auf einen Faden genommen wird, und ihm folgend gelangt man bald bis zum Ursprunge des Accessorius. Die Operation ist in dieser Weise noch leichter auszuführen; es findet dabei nicht die geringste Blutung statt und, was der Hauptvortheil ist, man ist besser im Stande, den Accessorius bis zum Ursprunge vom Vagus zu trennen, so dass auch nicht die geringste Zerrung dieses letzteren Nerven zu befürchten ist.

Die Operationsweisen am Vagus sind in den Capiteln II und III so ausführlich behandelt, dass hier auf dieselben nicht zurückzukommen ist.

Der N. hypoglossus wird, wenn er nur nahe seinem Austritte aus der Schädelhöhle durchschnitten resp. ausgerissen werden soll, durch einen Schnitt aufgesucht, wie der eben beschriebene von Cl. Bernard für die Aufsuchung des Accessorius Willisii geübte.

Diese Aufsuchung ist besonders dann zu empfehlen, wenn das Thier am Leben erhalten werden soll und später Versuche über den Lingualis etc. anzustellen sind.[2]

---

1) Siehe auch den Gang und die Verbindungen des N. accessorius auf Taf. VII Figg. 1 und 6.

2) Den Einwendungen Eckhard's gegenüber muss ich die Richtigkeit der zuerst von Vulpian gefundenen und von mir bestätigten Thatsache über die motorischen Eigenschaften des Lingualis, die einige Wochen nach Ausreissung des Hypoglossus sich beobachten lassen, aufrecht erhalten. Dieser nie misslingende Versuch lässt sich ohne jede elektrische Reizung demonstriren, nur durch leises Klopfen an dem Lingualis. Dagegen kann ich die unlängst von Vulpian ihm gegebene Erklärung, als rührten diese motorischen Eigenschaften von der Beimengung einiger Fäden der Chorda her, nach meinen Erfahrungen nicht gelten lassen.

Man hat dann den Vortheil diesen Nerven in einer frischen sauberen Wunde aufsuchen zu können.

Um eine Verwachsung des centralen Stumpfes des Lingualis mit dem peripheren des Hypoglossus (Bidder, Rosenthal, Philipeaux und Vulpian) zu Wege zu bringen, wird durch eine kleine Wunde, wie die S. 267—268 zu alleiniger Aufsuchung der Chorda angegebene, zuerst der N. lingualis aufgesucht. (Der Hautschnitt kann hier noch etwas kürzer als dort gemacht werden.) In dieser Wunde wird, indem der Lingualis als Führer dient, die Stelle aufgesucht, wo der Hypoglossus ganz nahe der Krümmungsstelle des Lingualis zu liegen kommt (Taf. XV Fig. 1 *g* und *h*). Der Hypoglossus wird etwas näher seinem Ursprunge durchtrennt und das centrale Stück so weit wie möglich ausgeschnitten. Das Ausreissen des Hypoglossus ist insofern nicht zu empfehlen, als dabei sehr leicht Zerrungen des Vagus vorkommen, was von nachtheiligem Einfluss auf den Heilungsgang ist. Hat man den Hypoglossus bis zu seiner Näherungsstelle an den Vagus ausgeschnitten, so ist man meistens gegen eine Regeneration gesichert.

Der N. Lingualis wird hinter der genannten Biegungsstelle durchtrennt, und zwar so, dass seine Biegung mit dem centralen Stumpfe im Zusammenhange bleibt. Dieser Stumpf wird dann leicht an den peripheren Stumpf des Hypoglossus angelegt und durch ein paar Nadelstiche durch den Mylohyoideus deren Annäherung gesichert. Oft bedarf das sichere Anliegen der beiden Stümpfe nicht einmal dieser Vorsicht, besonders wenn die Durchschneidungsstellen so gewählt sind, dass dieses Anliegen fast gar keine Verschiebung der Nervenstämme erheischt. Der periphere Stumpf des Lingualis wird möglichst weit ausgeschnitten.

Besondere Sorgfalt bedarf der Schluss der Wunde und die Beförderung des Heilungsprocesses durch die im ersten Capitel angeführten Mittel.

§. III. Versuche über das Rückenmark.

Während beim Gehirn die Schwierigkeiten des Experimentirens nicht so sehr in der Operationstechnik, als vielmehr in der Unmöglichkeit liegen, die hervorgerufenen Erscheinungen zu beobachten und zu deuten, ist beim Rückenmarke das Gegentheil der Fall. Die Deutung der durch die Versuchsbedingungen veranlassten Effecte ist hier ungleich leichter, auch gestattet der eigenthümliche Bau des Rückenmarks viel leichter das isolirte Experimentiren an den einzelnen Abschnitten. Dagegen sind die für die Blosslegung des Rückenmarks erforderlichen operativen Eingriffe viel bedeutender und für das Thier viel erschöpfender als beim Gehirn.

Die Stärke und die unregelmässige Gestalt der knöchernen Hülle des Rückenmarks, die Dicke der die Wirbelsäule umgebenden Muskelmassen, sowie der eigenthümliche Verlauf der Venensäcke erschweren die Operationen am Rückenmarke in hohem Grade.

Nicht alle Theile der Säule bieten gleiche Schwierigkeiten. Der Brusttheil des Rückenmarks lässt sich am leichtesten blosslegen und zwar nicht etwa der geringeren Muskelmasse, sondern der Krümmung der Wirbelsäule wegen, welche die spinalen Fortsätze hier mehr hervortreten lässt. Der Schwierigkeit der Operation nach folgen dann das obere Lendenmark, das Halsmark, das unterste Lendenmark und die Cauda equina. Die Halswirbel sind trotz der Schwäche der Knochen sowohl

wegen der Krümmung der Wirbelsäule als wegen des Umstandes schwer zu öffnen, dass man dem Halse keine feste Stütze geben kann, ohne zugleich die Athmung zu beeinträchtigen. Die Blosslegung der Cauda equina bietet besondere Schwierigkeiten hauptsächlich wegen der starken Blutung aus den venösen Säcken.

Die Schwierigkeiten der Wirbelsäuleneröffnungen steigern sich beträchtlich, wenn sie zum Zwecke vorgenommen werden, um an den Rückenmarkswurzeln zu operiren. Die dabei erforderliche Abtragung der Bogenansätze an die Wirbelkörper, oft sammt den Dornfortsätzen, ist meistens mit Blutungen verbunden. Die venösen Sinus liegen nämlich unmittelbar diesen Stellen an. Die Blosslegung der Hinterfläche des Rückenmarks kann dagegen fast ohne jede Blutung geschehen. Zur Stillung des Blutes bedient man sich entweder des Pengavar Djambi oder langer schmaler Schwammstreifen, die man in die Seitenfurchen des Wirbelkanals einlegt. Sehr vortheilhaft ist es, vorher die Schwämme in etwas Eisenchlorid zu tauchen und zu trocknen. Auch die von Dittmar empfohlenen, in Eisenchlorid getränkten und getrockneten Papierpartikelchen sind von Nutzen, besonders bei Knochenblutungen.

Vermindert werden diese Blutungen erstens durch die geeignete Lagerung der Thiere und zwar mit stark nach vorn gebeugtem Vorderkörper (Schiff) und zweitens durch die Unterhaltung einer ausgiebigen Athmung. In allen Fällen daher, wo die Eröffnung der Trachea mit den sonstigen Bedingungen des Versuches verträglich ist, erleichtert man sich die Operation beträchtlich durch Einleitung der künstlichen Athmung.

Starke Blutungen sind nicht nur darum schädlich, weil sie das Operiren beträchtlich erschweren, sondern weil die Thiere durch dieselben bis zu einem Grade erschöpft werden, dass sie nur noch schwach auf weitere Eingriffe zu reagiren vermögen. Eine seltnere Störung starker Blutungen besteht darin, dass, wenn nicht für eine Entfernung des Blutes nach aussen gesorgt wird, dasselbe sich in den uneröffneten tiefer gelagerten Abschnitten des Wirbelkanals anhäuft und daselbst durch Compression des Marks vollständige Lähmungen erzeugt.

Man beachte daher bei Eröffnung des Wirbelkanals immer die Regel, sobald nur eine stärkere Blutung sich aus einer kleinen gemachten Oeffnung zeigt, sofort diese Oeffnung zu erweitern. Dadurch wird nicht nur dem Blute ein Ausweg nach aussen geschaffen, sondern auch die Stillung der Blutung erleichtert. Zu dieser Stillung trägt auch der Umstand bei, dass die Sinus bei grösseren Oeffnungen der Wirbelsäule leichter zusammenfallen.

Ist die Eröffnung der Wirbelsäule mit einer grossen Blutung verbunden gewesen, so muss man nach der Blosslegung des Markes die Wunde schliessen und dem Thiere erst einige Erholungszeit gönnen, ehe zum weiteren Experimentiren geschritten wird. Wo es nur irgend mit den sonstigen Bedingungen des Versuchs verträglich ist, muss das Thier bei solchen Operationen mit Chloroform oder Chloral narkotisirt werden. Die heftigen Schmerzen erschöpfen das Thier oft mehr, als stattgehabte Blutung. Die nach der Eröffnung der Wirbelsäule dem Thiere gegönnte Erholungsfrist gewährt gleichzeitig die nöthige Zeit, um die Wirkung der Narkotisation vorübergehen zu lassen.

Am leichtesten ist die Eröffnung der Wirbelsäule bei Fröschen, dann folgen Meerschweinchen, Kaninchen, Katzen und Hunde. Nur die letzteren Thiere können

wirklich grosse Schwierigkeiten bei der Blosslegung des Rückenmarks bieten und zwar sowohl wegen der stärkeren Musculatur als wegen der grösseren Resistenz der Knochen. Eine geeignete Wahl junger, nicht zu fetter, aber gut genährter Individuen erleichtert auch hier die Operation und vertragen sie auch solche Hunde sehr gut.[1])

Der Hautschnitt wird bei Eröffnungen der Wirbelsäule in grösserer oder geringerer Ausdehnung, je nach der Zahl der zu eröffnenden Wirbelkörper, den Processus spinosi entlang genau in der Medianlinie geführt. Auch für den Ungeübten wird die Einhaltung der Regel keine Schwierigkeit machen, den Hautschnitt immer nur um einen Wirbelkörper länger zu machen, als welche eröffnet werden sollen, und zwar ist es wegen der Führung der Instrumente immer vortheilhaft, den Schnitt immer um einen vorderen Wirbelkörper zu verlängern.

Der Operirende stellt sich auf die linke Seite des in der Bauchlage mit nach vorn geneigtem Vorderkörper festgebundenen Thieres. Der Hautschnitt wird mit einem starken gebauchten Messer und mit einigem Drucke geführt, damit das Unterhautgewebe, die Fascien u. s. w. bis zu den Processus spinosi mit einem Schnitte durchtrennt werden. Darauf werden die beiden Wundlippen umgestülpt, um etwaige blutende Gefässe zu unterbinden. Bei der Trennung der in der Furche zwischen den Processus spinosi und den Processus transvers. gelegenen Muskeln muss, gleichgültig bei welchem Thiere und in welcher Wirbelhöhe die Operation gemacht wird, immer die Regel streng eingehalten werden, schon mit dem ersten Schnitte die Muskeln ganz vom Perioste zu trennen. Werden Schnitte in die Muskelmasse selbst geführt, so entstehen oft Blutungen, die bei Weitem die bei der Eröffnung des Wirbelkanals auftretenden übersteigen.

Es ist sogar empfehlenswerth, wo es nur angeht, die Muskeln von dem Knochen nicht durch ein Messer, sondern mit einem halbscharfen Instrumente (Taf. II Fig. 9, Taf. III Fig. 10) womöglich sammt dem Periost abzuschaben. Ist dies auf der einen Seite geschehen, so wird ein Schwamm zwischen Muskel und Knochen gesteckt und dasselbe auf der anderen Seite gemacht, wobei es bei grösseren Thieren vortheilhaft ist, dass der Operirende auf die entsprechende Seite des Thieres hinübergeht.

Die von den Seitenflächen der Processus spinosi und von den Rückseiten der Bogen abgeschabten Muskeln werden durch die bekannten Präparationshaken (Taf. IV Fig. 12) nach beiden Seiten hin abgezogen und die Knochenstücke auf diese Weise freigelegt. Die an diesen letzteren vorzunehmende Operation, um das Rückenmark blosszulegen, kann verschieden gewählt werden. Im Allgemeinen lassen sich drei Methoden zur Eröffnung der Wirbelsäule benutzen: 1) Abtragen der Bogen mit der Knochenzange, 2) vorherige Eröffnung des Bogens mit einer Trephine und Fortsetzung der Operation mit der Zange und 3) endlich das Aussägen der Bogen. Keinem dieses Verfahren lässt sich der Vorzug geben. Man wählt das eine oder andere dieser Verfahren, je nach der Gegend, in welcher operirt wird, je nach dem Versuchszwecke, je nach der Stärke der Wirbelbogen

1) Bei den Versuchen, welche Alladoff und ich über die Erregbarkeit der Vorderstränge anstellten, erhielten wir einige Hunde, denen fast das ganze Brustmark ausgeschnitten war, noch mehrere Tage am Leben.

und nach dem Grade, in welchem die Blosslegung der Wirbel gelungen ist. Auch die Geübtheit und die Muskelkraft des Operirenden können über die Wahl im speciellen Falle entscheiden. Im Nothfalle kann man aber mit jeder der erwähnten Methoden zum Ziele gelangen.

Bei Meerschweinchen, Kaninchen und bei jungen Katzen kann man mit der Zange allein sehr gut zum Ziele kommen und das Rückenmark in eleganter sauberer Weise blosslegen. Macht man bei Hunden vorher eine kleine Trepanöffnung, um die Zange leichter einführen zu können, so erleichtert man sich auch bei ihnen die Operation in hohem Grade. Eine saubere Eröffnung des Rückenmarks mit blosser Zange bei starken Hunden verlangt schon mehr Uebung.

Besonders schwierig wird dies, wenn auch die Wurzeln blossgelegt werden sollen. Man greift in diesem letzteren Falle, wenn man seiner Hand nicht ganz sicher ist, oder wenn man schneller zum Ziele gelangen will, zur Trephine oder zur Säge. Je breiter die zu entfernenden Bogen, um so mehr ist der Gebrauch dieser letzteren Instrumente angezeigt.

Welche der erwähnten Methoden man auch anwendet, jedenfalls erleichtert man sich die Operation ungemein, wenn man, nachdem die Bänder zwischen den Processus spinosi getrennt sind, diese Processus mit einer starken Zange mit löffelartig gestalteten Armen (von der Form der auf Taf. III Fig. 7 abgebildeten) abträgt.

Wird die Operation weiter mit der Zange fortgesetzt, so benutzt man die spitze schmale Zange der Taf. I Fig. 1. Mit dieser Zange wird der Bogen dicht an den Transversalfortsätzen durchbrochen und dann abgehoben. Man muss beim Einschieben der Zangenspitze zwischen zwei Bogen vorsichtig zu Werke gehen, um nicht zu tief hineinzugerathen, da man sonst Gefahr läuft, das Mark zu verletzen. Die Wurzeln können nur dann getroffen werden, wenn der erste Bogen schon abgebrochen ist und zur Entfernung des benachbarten geschritten wird. Dann lässt man sich der Bequemlichkeit wegen leicht verleiten, den einen Arm der Zange tief unter diesen Bogen zu schieben, wobei die Wurzeln wenn auch nicht durchrissen, so doch gequetscht werden können. Man beobachte bei Entfernung der Bogen mit der Zange die Regel, sie immer von aussen her anzugreifen: der Beobachter steht auf der Seite des Thieres, wo der Bogen durchtrennt werden soll, und richtet die Spitzen der Zange von der äusseren Seite des Thieres nach der Medianlinie zu. Werden im Gegentheil die Spitzen von innen nach aussen gerichtet, so geräth man leicht in die seitliche Furche des Wirbelkanals und verletzt die Wurzeln.

Die abgetrennten Bogen werden mit der Pincette entfernt. Haften sie noch durch Bänder oder Muskelfaserzüge an den benachbarten Bogen an, so entfernt man diese Verbindungen mit der Scheere.

Ist die Wunde nicht besonders tief, ist also die Musculatur nicht besonders stark, so kann man, wenn man seiner Hand ganz sicher ist, nachdem der eine Bogen entfernt worden ist, die nächstfolgenden mit Hilfe der Scheere, die auf Taf. II. Fig. 4 abgebildet ist, beseitigen.

Man führt deren dünneres Blatt in möglichst horizontaler Stellung nahe den Querfortsätzen unter den Bogen und durchbricht diesen letzteren. Bei grossen Thieren und wenn mehrere Wirbel eröffnet werden sollen, gelangt man mit einer solchen Scheere oft schneller zum Ziele.

Soll die Oeffnung erweitert werden, z. B. um die Wurzeln in grösserer Länge freizulegen, so bricht man allmählich die noch übrig gebliebenen Bogenstücke und, wenn nöthig, auch Stücke der Querfortsätze vorsichtig mit der Zange ab.

Wird eine Trephine zur Anlegung der ersten Oeffnung benutzt, so erleichtert dies das Manipuliren mit der Zange im hohen Grade. Um die Trephine besser anlegen zu können, bricht man die Processus spinosi mit der Zange vorher ab. Soll schnell das Rückenmark auf grösserer Strecke (5—6 Wirbel) blossgelegt werden, so ist es rathsam, in jeden zweiten Bogen eine Oeffnung mit der Trephine zu bohren und dann mit der Zange, deren Spitzen man in zwei benachbarte Löcher steckt, den Zwischenbogen zu erbrechen.

Zur Säge greift man vorzugsweise, wenn die Rückenmarkswurzeln mit besonderer Sorgfalt blossgelegt werden sollen. Am besten benutzt man dabei eine Säge von der Form der auf Taf. III Fig. 11 abgebildeten. Sie wird senkrecht zur Richtung der Wirbelsäule an den Bogen aufgesetzt und zwar möglichst von den Proc. spinos. entfernt und der Bogen an der betreffenden Stelle durchsägt. Dasselbe geschieht auf der anderen Seite desselben Bogens. Sind Knochenbrücken stehen geblieben, so entfernt man sie durch ein Paar Bewegungen mit der Spitze dieser Säge (s. Figur). Vor der Anlegung der Säge müssen die Weichtheile von den Bogen ganz sauber abgeschabt werden.

Welcher der besagten Instrumente man sich bei Eröffnung der Wirbelsäule auch bedient, immer muss besondere Sorgfalt auf deren Instandhaltung verwendet werden. Die Zange muss ganz scharfe Schneiden besitzen, da sie sonst den Knochen zerquetscht ohne ihn zu durchschneiden.

Beim Meerschweinchen wird das Rückenmark eröffnet, indem man das Thier in ein Handtuch so weit einwickelt, dass nur die betreffende Stelle der Wirbelsäule unbedeckt bleibt. Während man das Thier mit der linken Hand festhält und mit dem Daumen und Zeigefinger derselben Hand die Haut spannt, wird letztere mit der rechten Hand durchschnitten. Zur Abtrennung die Muskeln von den Wirbelfortsätzen reicht der Messergriff aus. Die Wirbelbogen werden mit einer kleinen Zange von der Gestalt der auf Taf. I Fig. 1 abgebildeten abgebrochen.

Beim Frosch kann die Wirbelsäule auch ohne Befestigung desselben geöffnet werden. Schonender und leichter geschieht dies aber beim festgebundenen Frosche.

Der Hautschnitt wird in der Medianlinie gemacht (s. den weissen Medianstrich auf Fig. 7 Taf. XXI; die Wirbelkörper erstrecken sich bis zur gestrichelten Linie), und die Hautnerven mit einer Scheere durchschnitten. Sollen nur die unteren Wirbel eröffnet werden, so trennt man mit einer Scheere die Muskeln, welche diese Strecke bedecken, zuerst von ihrem Ansatze an das Os sacrum und dann der Längsrichtung entlang von den Ansätzen an die transversalen Fortsätze der Wirbelkörper. Man darf bei Führung des letzten Schnittes nicht zu weit nach aussen gehen, da man sonst leicht die Bauchhöhle öffnet. Man bleibt etwas nach innen von den an beiden Seiten deutlich sichtbaren Furchen. Die Muskeln werden auf der Strecke der letzten vier Wirbel abgeschnitten und darauf die Bandmasse, welche die Bogen der einzelnen Wirbel mit einander verbindet, mit einer Scheere durchschnitten. Man muss sich dabei hüten mit den Spitzen der Scheere in den Wirbelkanal hineinzukommen, da man sonst die sehr oberflächlich gelegenen hinteren Wurzeln durchreissen kann.

Sind die Grenzen der einzelnen Bogen gut sichtbar, so hebt man die betreffende Partie der Wirbelsäule mit dem Daumen und dem Zeigefinger der linken Hand etwas in die Höhe und schreitet zum Abbrechen der Bogen mit einer kleinen Zange. Auch hier muss die Zange mit den Spitzen von aussen nach innen gerichtet werden und die Zangenblätter möglichst horizontal, also den Wirbelbogen parallel gehalten werden. Man durchbricht den Bogen an beiden Ansätzen und hebt ihn dann mit derselben Zange ab.

Die Eröffnung ist als gelungen zu betrachten, wenn die weisslichen Häute des Markes mit dem in der Mittellinie verlaufenden Blutgefässe, sowie die hinteren Wurzeln von den Instrumenten nicht berührt worden sind.

Sehr verfehlt ist es, die Wirbelsäule bei Fröschen mit einer kleinen Scheere zu eröffnen. Im besten Falle misshandelt man dabei die Wurzeln durch die Spitzen der Scheere, welche zwischen den Bogen der Wirbeln eindringen.

Die Entfernung der Rückenmarkshäute ist die zarteste und vielleicht wegen der ganz ausserordentlichen Empfindlichkeit derselben die für das Thier eingreifendste Operation. Wo die besonderen Bedingungen des Versuchs es nicht durchaus erfordern, ist es daher rathsamer, von dieser Entfernung Abstand zu nehmen. Ist sie aber nicht zu umgehen, so spalte und entferne man die Häute in der schonendsten Weise. Für die Dura mater und die Arachnoidea verwendet man am besten ein schmales langes Messer mit sehr scharfer Schneide, das man ohne jeden Druck in der gewünschten Länge an den Häuten vorbeizieht. Die Häute werden nach der Spaltung mit Pincetten nach beiden Seiten gezogen. (Weniger schonend ist es, die Dura mit einer Pincette in die Höhe zu heben und mit einer feinen Scheere zu spalten.) Während man die Dura mater am besten in der Medianlinie öffnet, fängt man die Präparation der Pia mater am liebsten an den Seiten an, da hier die Gefässe leichter zu umgehen resp. zu torquiren sind.

Die am blossgelegten Rückenmarke anwendbaren Eingriffe sind Reizungen, Durchschneidungen und Entfernungen einzelner Abschnitte. Die mit diesen Eingriffen zu machenden Ermittelungen haben die Erregbarkeit der verschiedenen Marktheile, die Vertheilung und den Gang der Leitungsbahnen und das Vorhandensein abgegrenzter Abschnitte, sogenannter Centra, festzustellen, die mit gewissen Thätigkeiten des Organismus in intimerem Zusammenhange stehen. Die bei Versuchen über das Rückenmark von dem Thiere zu erhaltenden Reactionen, welche diese Ermittelungen aus den gesetzten Eingriffen abzuleiten gestatten, sind sehr beschränkt. Erzeugung von Bewegungen in den quergestreiften oder glatten Muskeln durch directe und reflectorische Erregungen, sowie Beobachtungen der auftretenden Abweichungen in den gewöhnlichen Bewegungen des Thieres sind auch hier wie beim Gehirne die einzigen uns zu Gebote stehenden Prüfungsmittel.

Abgesehen von dem Schonungsgrade, mit welchem die Blosslegung des Rückenmarkes ausgeführt wurde, wird die Zuverlässigkeit der aus solchen Versuchen gewonnenen Schlüsse bedingt durch die Exactheit, mit welcher die Reizungen und Verletzungen des Marks localisirt werden und durch den Genauigkeitsgrad, welchen die gewählten Prüfungsmittel gestatten. Die Schwierigkeiten, diese Bedingungen zu erfüllen, erklären es, warum über die Leitungsbahnen und über die Erregbarkeitsverhältnisse des Rückenmarkes von den verschiedenen Beobachtern soviel sich ganz widersprechende Angaben gemacht worden sind.

Was die Reizungen anbelangt, so ist bei Verwendungen elektrischer Ströme eine strenge Localisation natürlich unmöglich. Die Verbreitung von Stromesschleifen auf die benachbarten Rückenmarkspartien und deren Uebersprungen auf die Wurzeln ist um so schwieriger zu umgehen, als zur Erregung einiger Theile des Markes, vielleicht wegen dessen Erschöpfung bei der Blosslegung, starke Ströme angewendet werden müssen. Durchschneidungen unterhalb der gereizten Stellen können insofern nicht immer als Controllversuche gelten, als das Fortbestehen des Effects nach solcher Durchschneidung noch nicht die Abhängigkeit des beobachteten Effects von directer Verbreitung der elektrischen Ströme beweist. Bei der Intensität der hier zur Verwendung gelangenden Ströme kann eine solche Verbreitung oft nicht vermieden werden; dennoch aber bleibt die Möglichkeit dircterer Erregung der gereizten Stellen nicht ausgeschlossen.

Mechanische Reize haben in dieser Beziehung den entschiedenen Vortheil vor elektrischen, wenn es darauf ankommt die directe Erregbarkeit bestimmter Rückenmarkspartien zu prüfen. So z. B. lassen alle Beweise für die Erregbarkeit der Vorderstränge, welche mit Hilfe elektrischer Reizungen beigebracht wurden (Fick und Engelken, Dittmar), noch immer Einwände zu, von denen die Versuche mit mechanischen Reizungen (Vulpian, Aladoff) ganz frei sind.

Zur elektrischen Reizung des Rückenmarkes bedient man sich gewöhnlich inducirter Ströme, die mit Hilfe eingestochener Spitzen-Elektroden (Taf. IV Fig. 9 und 10) dem Rückenmarke zugeführt werden.

Als mechanischen Reiz braucht man leises Klopfen mit einem Glasstabe, vorsichtigen Druck mit einer glattränderigen Pincette u. s. w. Um die Vorderstränge allein zu reizen, durchschneidet man das Rückenmark, hebt den unteren Stumpf durch einen in den Wirbelkanal eingeschobenen Glasstab etwas empor und klopft leise mit einem zweiten Glasstabe auf die so auf harter Unterlage gebrachten Vorderstränge. Die Bewegungen der Hinterpfoten sind bei rasch ausgeführter Operation bei jungen kräftigen Hunden sehr deutlich zu beobachten.

Eine fernere Schwierigkeit bei Deutung der Reizeffecte liegt in der unregelmässigen Gestalt der einzelnen Abschnitte, welche den Rückenmarksquerschnitt bilden. Bei den meisten Reizungen ist man im Unklaren, ob der Effect von den Hintersträngen oder von den Wurzeln auf die Vorderstränge übertragen worden ist, ob er also ein reflectorischer ist, ob er von der grauen Masse abhängt u. s. w. Die zur Aufklärung vorgenommenen Abtragungen der einzelnen Theile sind mit grossen Schwierigkeiten verbunden und lassen nur in den seltensten Fällen ganz bestimmte Schlüsse zu. Nach den bisherigen Erfahrungen ist man daher nicht im Mindesten berechtigt, irgend einem Theile des Rückenmarks die Fähigkeit, durch directe Reize in Erregung versetzt zu werden, abzusprechen.

Die Schwierigkeiten genau begrenzter Durchschneidungen des Rückenmarks steigern sich noch, wenn mit ihrer Hilfe die Leitungsbahnen genau ermittelt werden sollen. Auch bei der sorgfältigsten Blosslegung des Rückenmarks und bei der vollständigsten Unbeweglichkeit des Thieres ist es im höchsten Grade schwierig aus freier Hand einen Schnitt durch das Rückenmark genau in der gewünschten Ausdehnung zu führen. Fast unmöglich ist es, bei solcher Schnittführung die zu schonenden Marktheile vor Quetschung zu bewahren.

Wenn schon ein einfacher Querschnitt solche Schwierigkeiten bietet, so ist

die Anlegung genau begrenzter grösserer Längsschnitte in der Mittellinie des Markes streng genommen ganz unmöglich. Die horizontalen Längsspaltungen des Rückenmarks gestatten nicht einmal eine annähernde Einhaltung der gewünschten Grenzen. Durch die auch bei der sorgfältigsten der üblichen Befestigungsweisen des Thieres nicht zu vermeidenden Bewegungen desselben während der Schnittführung wird deren saubere Ausführung noch mehr erschwert.

Bei Beobachtung einiger Cautelen und grosser Uebung kann man dennoch mit einer für viele Versuchszwecke ausreichenden Genauigkeit Quertrennungen des Rükkenmarks frei mit der Hand ausführen. Man bedient sich zu solcher Durchschneidung feiner sehr scharfer und zugespitzter Messer etwa von der Art des auf Taf. I Fig. 12 abgebildeten. Das Messer wird senkrecht zur Richtung des Markes in der gewünschten Stelle bis zur beabsichtigten Tiefe eingestossen und zwar so, dass die Schneide dem zu durchtrennenden Theile zugekehrt ist. Der Schnitt muss schnell und kräftig geführt werden, ohne Quetschung oder Zusammendrücken der Theile zu veranlassen. Mit der linken Hand wird während dieser Zeit der betreffende Wirbel genau fixirt, um von einer plötzlichen Bewegung des Thieres nicht überrascht zu werden.

Die Ausführung der Operation ist bedeutend leichter, wenn eine Rückenmarksstelle in der ganzen Tiefe durchtrennt werden muss. Man stösst dann die Spitze des Messers bis zur hinteren Wand des Wirbelkörpers vor und erlangt so eine feste Stütze für das Messer, was das weitere Manipuliren beträchtlich sichert. Relativ am leichtesten ist die quere Durchtrennung des ganzen Rückenmarks, obgleich auch dafür eine feste sichere Führung des Messers unentbehrlich ist. Der Schnitt kann als gelungen betrachtet werden, wenn die Schnittflächen ihre normale Lage und nicht die geringste Zerrung oder Quetschung erkennen lassen.

Bei diesen Schwierigkeiten, beliebig ausgedehnte Durchschneidungen des Rückenmarks mit freier Hand vornehmen zu können, ist es gewiss als grosser methodischer Fortschritt zu betrachten, wenn es Ludwig gelungen ist, mit Hilfe einiger Vorrichtungen die Genauigkeit dieser Durchschneidungen ganz unabhängig von der individuellen Uebung des Experimentators zu machen. Diese Vorrichtungen, welche im Leipziger Laboratorium von Miescher, Dittmar und Woroschiloff mehrfache Anwendung gefunden haben, bezwecken sowohl die Führung des Messers viel sicherer zu machen, um damit besonders Verletzungen benachbarter Marktheile zu vermeiden, als auch die Wirbelsäule so unbeweglich zu fixiren, dass ungewünschte Verschiebungen des Messers unmöglich vorkommen können.

Der erste dieser beiden Zwecke wird durch eine Vorrichtung erreicht, welche schon Seite 258 erwähnt worden ist. Diese Vorrichtung ist auf Taf. III Fig. 5 und 6 abgebildet. Sie besteht aus dem metallischen Prisma *a*, welches durch die feine Schraube *c* in beliebiger Richtung parallel mit sich selbst verschoben werden kann. Mit Hilfe des Armes *b* wird das Prisma auf einem Stabe des Kaninchenhalters unbeweglich fixirt.

Dieses Prisma hat eine oder mehrere in gewünschter Entfernung von einander befindliche Spalten, in welche feine Messerchen von der Form des in Fig. 6 abgebildeten passen.

Das Prisma wird über das zu operirende Markstück mit den Spalten parallel seiner Längs- oder der Breitenausdehnung gestellt und die Messerchen durch dieselbe in das Rückenmark gesenkt. Im ersten Fall wird das Mark von den Messerchen

in der Längsrichtung getrennt, im letzteren in der Querrichtung. Da man dieses Prisma beliebig verschieben und ausserdem auch die Zahl der Spalten je nach dem Versuchszweck ändern kann, so hat man die Möglichkeit mit grosser Genauigkeit das Mark in gewünschten Abständen und in beliebiger Ausdehnung zu durchtrennen.

Soll das Rückenmark nur in einer Stelle durchtrennt werden und sollen die Nachbartheile vor Quetschungen, Extravasaten u. s. w. geschützt werden, so benutzt man die erwähnten kleinen Messerchen als Schutzmesserchen. Sie werden mit sagittal gerichteter Schneide durch das Mark hindurch bis an die Wirbelsäule eingestochen und bieten so eine Schutzgrenze, welche das schnittführende Messer nicht überschreiten kann. Miescher überzeugte sich, dass die Einführung eines solchen Schutzmesserchens in der Richtung der Längsfasern keinen Einfluss auf die Leitung in den betreffenden Stellen ausübt. Will man Querschnitte in genau begrenzter Ausdehnung an zwei Stellen derselben Wirbelhöhe anlegen, z. B. die beiden Seitenstränge auf einer bestimmten Rückenmarkshöhe durchtrennen, so stösst man zwei in besonderen mit einander verbundenen Haltern steckende Schutzmesser in das Mark ein und führt die Schnitte nach beiden Seiten von diesen Messern. Die zwischen ihnen abgegrenzte Rückenmarkspartie wird dann vollständig geschont. Sind die Halter für die Schutzmesserchen durch eine Schraube in beliebiger Entfernung von einander einstellbar, so kann man die zu erhaltende Rückenmarkspartie beliebig breit wählen.

Um die Ausdehnung der Durchtrennung durch die Section genau feststellen zu können, muss das betreffende Stück Wirbelsäule nebst Mark und dem darin steckenden Schutzmesserchen in Alkohol gelegt werden, um das gehärtete Mark mit Hilfe des Mikroskops untersuchen zu können.

Die mit Hilfe dieser Vorrichtungen ausgeführten Durchtrennungen gewinnen einen noch höheren Genauigkeitsgrad, wenn man sich dabei noch der weiteren Einrichtung bedient, welche Ludwig zur Fixirung der Wirbelsäule angegeben hat.[1])

Die zangenförmige Einrichtung ist auf Taf. XL Fig. 1 abgebildet. Die Zangen *k* und *l*, denen man je nach dem Orte der Wirbelsäule, wo sie angelegt werden sollen, verschiedene Form geben muss, besitzen zwei nach unten gebogene Arme *p*, *p*, die bei *m* durch ein Charnier mit einander verbunden sind. Durch die Schrauben *n*, *n* werden die den Knochen umgreifenden Enden der Zange fixirt. Diese Enden sind so gestaltet, dass sie gerade in je eine Vertiefung eingreifen, welche unterhalb des schiefen Fortsatzes sich befindet.

Die prismatischen Stäbe *g* und *h*, an welche die Zangen befestigt sind, passen in die beiden ebenfalls prismatisch gestalteten Bohrlöcher der Hülse *d c*, welche senkrecht an eine zweite Hülse aus Messing *b* festgelöthet ist. Diese letztere Hülse lässt sich in der gewöhnlichen Weise mit einer Schraube auf beliebiger Höhe des Stabes *a* fixiren. Die Schrauben *d* und *f* dienen dazu, die prismatischen Stäbe *g* und *h* in den Löchern der Hülse *c d* zu sichern.

Die übrigen in der Figur sichtbaren Theile gehören den soeben beschriebenen Einrichtungen zur Befestigung der Schutzmesser an. Sie gestatten auch die Einfüh-

1) Diese Einrichtung ist in der Abhandlung von Woroschiloff in den Arbeiten der Leipziger Anstalt für das Jahr 1874 beschrieben.

rung von bajonettartig gestalteten Messerchen für die Fälle, wo horizontale Schnitte durch das Rückenmark geführt werden sollen. Um die Wirbelknochen an den Seiten nicht zu weit abtragen zu müssen, sind den Schutzmesserchen für diese Schnitte zwei knieartige Biegungen gegeben, die ihnen die Form eines Bajonettes verleihen. Durch die auf der Zeichnung sichtbare Schraubenvorrichtung lassen sich auch diese Schutzmesserchen in beliebiger Höhe einstellen.

Die Durchschneidungen des Rückenmarks und der Medulla oblongata erlangen Dank diesen Vorrichtungen einen hohen Grad von Sicherheit; und wenn auch mit ihrer Hilfe sich nicht ganz genau die Ausdehnung der zu setzenden Verletzung vorausbestimmen lässt, so kann man wenigstens bei ihrer Benutzung sicher die Grenzen bei der Durchtrennung nicht überschreiten, welche durch die Schutzmesserchen gesetzt wurden.

Es ist schon oben angedeutet, dass die Mittel, durch welche wir bei Reizungen und Durchschneidungen des Rückenmarks den Gang der Leitungsbahnen eruiren können, hauptsächlich in reflectorisch und direct erzeugten Bewegungen, sowie in den Veränderungen bestehen, welche die gewohnten Bewegungen des Thieres nach diesen Eingriffen erleiden. Der allgemeine Gang solcher Versuche besteht also in Durchschneidungen gewisser Rückenmarkspartien und Prüfung der Bewegungen, welche in verschiedener Weise hervorgerufen werden können. Es werden höher gelegene Theile des Rückenmarks gereizt und die Bewegungen der Muskeln beobachtet, welche ihre Nerven von unterhalb der Schnittfläche erhalten, oder es werden solche Körperstellen erregt, die ihre Nerven von der einen Seite der Schnittfläche empfangen, und die Bewegungen in den Muskeln studirt, deren Nervenursprünge auf der anderen Seite der Schnittfläche gelagert sind u. s. w.

Die verschiedenen Combinationen, welche durch Variation der Wirbelhöhe, der Seitenhälften und der Abschnitte des Rückenmarks, wo die Durchschneidungen vorgenommen werden, entstehen, bedürfen wohl keiner besonderen Besprechung. Die Operationsmethoden bleiben dieselben.

Ein wichtiges Hilfsmittel für die Untersuchung der sensiblen Leitungsbahnen des Rückenmarks ist von Ludwig eingeführt worden, indem er die von den sensiblen Nerven auf die vasomotorischen ausgelösten Reflexe bei Durchschneidungen verschiedener Stränge der Prüfung unterzieht.

Solche von Dittmar, Miescher u. A. in Ludwig's Laboratorium ausgeführte Untersuchungen haben bekanntlich schon zu manchen wichtigen Schlussfolgerungen über die Lage der sensiblen Bahnen des Rückenmarkes geführt. Der Vortheil, welchen diese Reflexbewegungen für ähnliche Untersuchungen bieten, besteht zuerst darin, dass man durch genaue Messungen der im Blutdrucke hervorgerufenen Schwankungen im Stande ist, auch quantitative Aenderungen der Leitungen im Rückenmarke genauer zu beobachten.

Auch die Möglichkeit, an durch Curare ganz bewegungslos gemachten Thieren zu operiren, ist ein Vortheil, der bei so schwierigen Operationen nicht zu unterschätzen ist.

Die Methoden, die Reflexe von den sensiblen Nerven auf die Vasomotoren zu beobachten, sind schon in Cap. II § XIII angegeben worden. Im nächsten Paragraph sind die Mittel beschrieben, um in den Skelettmuskeln Reflexbewegungen zu veran-

lassen, und im nächstfolgenden solche, um Störungen der gewöhnlichen Bewegungen des Thieres zu prüfen.

Hier sollen nur noch einige Versuchsweisen über die Wurzeln des Rückenmarks angegeben werden, die bei geöffneter Wirbelsäule angestellt werden.

Zu solchen Versuchen werden meistens Frösche, Hunde und Katzen gewählt. Frösche benutzt man sowohl der Leichtigkeit der Wirbelsäuleneröffnung, als auch der Zähigkeit wegen, mit welcher diese Thiere die Blosslegung des Rückenmarkes, sowie die Blutverluste, ertragen. Hunde und Katzen werden bei Versuchen über die Wurzeln den Kaninchen vorgezogen, wegen der Länge ihrer Wurzeln, der grösseren Isolirtheit der hinteren Wurzeln von den vorderen und deren Lage ausserhalb der Dura mater (Cl. Bernard). Dieser letztere Umstand ist besonders wichtig, weil er gestattet, an den Wurzeln zu operiren, ohne die Dura mater zu spalten. Besonders günstig ist in dieser Hinsicht die Lage der Wurzeln beim Hunde, die sowohl innerhalb als ausserhalb der Dura mater isolirt vom Rückenmarke verlaufen und nach Verlassen der letzteren sogar eigne Scheiden besitzen. Das lose Bindegewebe, welches die beiden Wurzeln bei Hunden verbindet, lässt sich zerreissen, ohne im Geringsten dabei an den Wurzeln zerren zu müssen.

Mit Ausnahme des zweiten Paares der Halswurzeln vereinigen sich die beiden Wurzeln bei Hunden und Katzen schon innerhalb des Wirbelkanals. Nur an dem erwähnten Paare können daher Versuche ausserhalb der Wirbelsäule angestellt werden (Cl. Bernard, Waller).[1]) Von den anderen innerhalb des Wirbelkanals sich vereinigenden Wurzelpaaren sind die tiefer abgehenden wegen ihres mehr schiefen Verlaufs, also grösserer Länge für gewisse Versuche (z. B. für die Sensibilité recurrente) am meisten geeignet. Für den letzteren Zweck wählt man daher vorzugsweise die Lumbalwurzeln und zwar das letzte Paar zwischen dem siebenten Lumbal- und ersten Sacralwirbel, welches beim Hunde das längste ist (Cl. Bernard).

Bei Fröschen werden am häufigsten die vier hintersten Wurzelpaare (6—10) für Versuchszwecke benutzt; dies hauptsächlich ihrer grösseren Länge und ihrer Beziehungen zur hinteren Extremität wegen, deren Bewegungen sich besonders leicht zergliedern lassen.[2])

---

1) Auf Taf. XVI Fig. 1–6 sind nach Cl. Bernard die zweiten Cervicalwurzeln des Hundes in den verschiedenen Degenerationsstadien nach deren Durchschneidung dargestellt. Wegen der genannten Vereinigung ausserhalb des Wirbelkanals eignet sich nämlich dieses Paar besonders für das Studium des Einflusses, welchen die Spinalganglien auf die Ernährung der Wurzeln etwa auszuüben vermögen.

Fig. 1 zeigt die Folgen der Durchschneidung der hinteren Wurzel oberhalb des Ganglions g; A degenerirt A' und SS' intact. In Fig. 2 sind die Wurzeln schon nach ihrer Vereinigung durchschnitten worden; A ist degenerirt, g und die beiden Wurzeln S und S' sind intact.

In Fig. 3 ist die hintere Wurzel aus dem Marke ausgerissen: keine Degenerationen. In der Fig. 5 ist das Stück g aus beiden Wurzeln ausgeschnitten worden; das periphere Ende beider Wurzeln und das centrale der hinteren sind degenerirt. In Fig. 6 endlich sind drei Wurzeln oberhalb des Ganglions durchschnitten; A und A' sind alterirt, S intact.

2) Auf Taf. XXIV Fig 3 ist das ganze Nervensystem des Frosches, von vorne gesehen, (nach Ecker) wiedergegeben. Die Hirnnerven sind durch 1, 2, 3 u. s. w., die Rückenmarksnerven durch 1′, 2′, 3′ u. s. w. bezeichnet. Va = Ram. ophthalmicus; Vb = R. palatinus; Vc = R. maxill. sup.; $Vd.$ = R. max. inf.; Ve = N. tympanicus, der die Anastomose X_1 zum Vagus (10) sendet und dann den N. facialis F bildet. X_2 bildet den Glossopharyngeus, X_3 die

Werden die drei hintersten Wirbel auf die schon beschriebene Weise aufgebrochen, so sind diese Wurzeln sofort dem weiteren Operiren zugänglich. Die relative Dicke der einzelnen Wurzeln variirt bei den verschiedenen Individuen, gewöhnlich ist die sechste die dünnste von den vieren. Die hinteren Wurzeln liegen bei Entfernung der weisslichen Hirnhaut frei vor; die vorderen dagegen können erst sichtbar gemacht werden, wenn die hinteren etwas bei Seite geschoben sind.

Dies geschieht in einer für die letzteren schonendsten Weise, wenn man eine Präparirnadel (Taf. II Fig. 10) mit der flachen Seite vorsichtig unter die hinteren Wurzeln von aussen nach innen schiebt, dann mit der Spitze der Nadel dem äusseren Rande des Rückenmarks entlang zu der hinteren (oberen) Fläche der Wirbelkörper dringt, die Spitze der Nadel zur seitlichen Furche des Wirbelkanals wendet, sie unter die vorderen Wurzeln führt und dann aus dem Wirbelkanal herausholt. Wurde ein feiner Seidenfaden vorher in die Nadel eingeführt, so ergreift man auf die bekannte Weise das kürzere Ende des Fadens und zieht die Nadel auf dem früheren Wege aus dem Wirbelkanal heraus.

Die Führung der Nadel muss sehr behutsam geschehen; bei der Unterführung unter die hinteren Wurzeln ist ihr convexer Rand nach aussen, ihre Spitze nach innen gerichtet; während sie unter die vorderen Wurzeln geleitet wird, erleidet sie eine Wendung, bei welcher ihre Spitze nach aussen und ihre convexe Seite nach innen zu liegen kommt.

Es wird der Nadel, während sie im Wirbelkanale ist, eine feste Stütze an den Wirbelkörpern gegeben, damit sie im Falle einer plötzlichen Bewegung des Thieres unverrückbar bleibt. Bei der ganzen Manipulation muss die Nadel der Längsrichtung möglichst parallel bleiben und möglichst nahe dem Körper anliegen. Die Krümmung der Nadel darf nur sehr gering sein. Auch mit einem stumpfen Häkchen von der Gestalt des auf Taf. II Fig. 11 abgebildeten lassen sich beim Frosche die Wurzeln in ähnlicher Weise hervorholen. Wegen der grossen Zerreisslichkeit der Wurzeln muss man nur immer suchen dem Instrumente einen Stützpunkt in der Wirbelsäule des Thieres zu geben, damit es beim Zusammenzucken des Thieres dessen Bewegung, ohne seine Stellung zu verändern, mitmachen kann.

Bei grösseren Thieren bedient man sich zum Emporheben der Wurzeln ähnlicher Haken oder hakenförmiger Präparirnadeln (Taf. I Fig. 6). Die auf der Tafel II abgebildete speculumartig gestaltete Zange (Figur 1) sowie die neusilbernen Haken der Fig. 2 und 3 erleichtern das Operiren an den Wurzeln, indem sie die Wundränder weit auseinander zu halten gestatten.

Durchschneidungen der Wurzeln bieten sowohl bei Fröschen als bei Säugethieren keine Schwierigkeiten. Bei den ersteren braucht man bei solchen Durchschneidungen nicht einmal das Thier festzubinden. Man öffnet die Wirbelsäule, indem man den Frosch in der linken Hand festhält, hebt die betreffenden Wurzeln mit einem Finder etwas in die Höhe und, während man den Finder mit den Fin-

---

Nerven des Darmkanals; X_3 ist ein Hautnerv; *XG* ist das Ganglion des Vagus. $S_1 - S_{10}$ sind die sympathischen Ganglien (*S* das vierte, *S M* und *S M* das fünfte und sechste). *Nc* ist der Nervus cruralis, *Ni* der Nervus ischiadicus. Die Hirntheile und das Rückenmark sind ohne Erklärung erkennbar.

gern derselben Hand an den Frosch andrückt, durchschneidet man die Wurzeln mit der rechten Hand. Zur Durchschneidung bedient man sich möglichst scharfer Scheeren.[1])

Viel schwieriger sind Reizungen an den Wurzeln anzubringen. Wegen der Kürze der Wurzeln, wegen der Nachbarschaft des Rückenmarks und der häufigen Verunreinigungen der Wunde durch Blut, gehört eine isolirte elektrische Reizung der einzelnen Wurzeln zu den schwierigsten technischen Aufgaben. Die Schwierigkeiten werden noch beträchtlich gesteigert, wenn nur die eine Wurzel, z. B. die vordere, gereizt werden muss, während die hintere intact bleiben und nicht die geringste Zerrung erleiden darf. Ueberspringen von Stromesschleifen, unipolare Reizungen u. s. w. sind bei solchen Versuchen nur bei der grössten Sorgfalt zu umgehen. Um so mehr als nur bei den wenigsten der hier einschlagenden Experimente die Wurzeln unterbunden und durchschnitten werden müssen; meistens wird die im ununterbrochenen Zusammenhange mit den centralen und peripheren Organen stehende Wurzel gereizt.

Als Elektroden kann man bei Fröschen die auf Taf. IV Fig. 16 abgebildeten gebrauchen, welche ich bei Gelegenheit der Untersuchungen über den Einfluss der hinteren Wurzeln auf die Erregbarkeit der vorderen verwendet habe. Auf einem Glasstabe *h*, der in der gewöhnlichen Weise auf einem Stabe des Froschbrettes befestigt ist, sind drei Scheiben beweglich angebracht; *d* und *d'* aus Messing, *c* aus Elfenbein. Die metallnen Scheiben tragen an Goldfäden aufgehängte feine Metallhäkchen *b* und *b'*, während die Elfenbeinplatte an einem feineren Faden ein Glashäkchen *a* besitzt. Die Enden des stromzuführenden Kreises werden in Löcher eingeführt, die in den Scheiben *d* und *d'* angebracht sind.

Auf *b* und *b'*, welche als stromzuführende Elektroden dienen, werden die zu erregenden Wurzeln gelegt, während die anderen auf dem Glashäkchen *a* ruhen. Durch Drehungen der Scheiben können die Häkchen beliebig hoch eingestellt werden. Um die Berührung der Metallhäkchen zu verhüten wird zwischen ihnen eine feine Korkscheibe eingelegt. Damit wird auch erreicht, dass die Entfernung der Elektroden von einander bei vergleichenden Reizversuchen dieselbe bleibt. Statt dieser Elektroden benutzte ich jetzt für ähnliche Versuche feine Platindrähtchen, die in eine stromzuführende Vorrichtung, ähnlich der in Fig. 2 Taf. LI sichtbaren, befestigt sind.

Für die Demonstration des Bell'schen Lehrsatzes mit Hilfe von Reizungen der Wurzeln eignet sich sehr gut die auf Taf. XL Fig. 3 sichtbare Vorrichtung von Ludwig.[2]) Der Frosch wird in einer Weise zugerichtet, dass die vordere Körperhälfte mit der hinteren nur noch durch die Vermittelung der letzten Rückenmarkswurzeln zusammenhängt. Wie aus der Zeichnung ersichtlich, ist das ganze hintere Rückenmarkstück weggeschnitten, die Wurzeln liegen also frei zur Reizung vor. Die auf dem verticalen Stabe beweglichen Zangenvorrichtungen fixiren die beiden Froschhälften in einer Weise, dass die Wurzeln nicht gezerrt werden.

1) Für die Demonstration des Bell'schen Gesetzes benutzt man am besten Frösche, denen man in verschiedenen Combinationen die einen oder die anderen Wurzeln durchschneidet. Parallele Vergleiche mehrerer in verschiedener Weise operirter Frösche zeigen am deutlichsten die Unterschiede der Function der hinteren und vorderen Wurzeln.

2) Ich verdanke die Zeichnung der Güte des Herrn Prof. Ludwig.

Die mittlere Zange (s. Figur) trägt an ihrem Ende eine Korkplatte, in welche sich Zink- und Kupferstäbe in beliebiger Entfernung von einander einstechen lassen. Nimmt man die einen oder die anderen Wurzeln auf diese Stäbe und verbindet diese letzteren leitend, so wird die auf ihr ruhende Wurzel gereizt. Die Vorrichtung wird unter den Zuhörern herumgereicht und ein Jeder kann durch Herstellung des Contactes den Effect der Reizung beobachten.

An grösseren Säugethieren wird über die Wurzeln experimentirt, hauptsächlich um die Sensibilité récurrente zu demonstriren. Wie schon oben erwähnt, eignen sich dazu am besten Hunde, und zwar junge kräftige Individuen. Cl. Bernard zieht es vor an den letzten Lumbalwurzeln zu experimentiren. Man kann aber auch sehr gut dazu die leichter blosszulegenden letzten Brustwurzeln gebrauchen. Auf mechanische Reizung des peripheren Stumpfes der vorderen Wurzeln gelingt es nicht immer sofort nach der Eröffnung der Wirbelsäule deren Sensibilität zu zeigen. Durch grosse Erschöpfung ist die Empfindlichkeit des Thieres oft so abgestumpft, dass erst einige Stunden Erholung dem Thiere gegeben werden müssen, ehe es zum Versuch brauchbar wird.

Ich gebe daher bei Vorlesungen der elektrischen Reizung der blossgelegten Wurzeln den Vorzug. Während ein Gehilfe die entsprechende hintere Wurzel etwas bei Seite schiebt, wird die vordere Wurzel auf passend gestaltete Elektroden genommen und gereizt. Besonders gut gelingt diese Reizung, wenn diese Wurzel nach Abbindung durchschnitten wurde und nur der periphere Stumpf gereizt wird. Unterbindet man darauf die hintere Wurzel, so ruft die erneute Reizung des peripheren Stumpfes keine Schmerzäusserung des Thieres mehr hervor.

Wie bei allen Versuchen, wo nur die Wurzeln der einen Seite dem Versuche unterzogen werden, ist es rathsam, nicht das ganze Rückenmark, sondern nur die entsprechende Hälfte blosszulegen. Cl. Bernard begnügt sich damit, dass er mit einer Säge von der Form der auf Taf. III Fig. 13 abgebildeten, den Bogen einmal dicht am spinalen Fortsatz, das andere Mal nach aussen von dem schiefen Fortsatz durchsägt und ihn dann mit einer Zange abbricht.

§. IV. Versuche über die Reflexbewegungen.

Bei Versuchen über die Reflexbewegungen können folgende Momente der messenden Prüfung unterzogen werden.

1) Die Reizmittel, welche den sensiblen Nerv in Erregung zu versetzen vermögen, 2) die Bahnen, welche diese Erregung im Rückenmarke durchläuft, um auf eine bestimmte motorische Faser zu gelangen, 3) die Zeit, welche für diese Uebertragung erforderlich ist, und 4) die Stärke des Effects, den die auf die motorische Faser übertragene Erregung in dem Muskel erzeugt.

Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung in den Nervenstämmen bekannt ist, so kann bei Auslösungen von Reflexen von den Nerven aus auch 5) die Zeit ermittelt werden, die der Reiz braucht, um vom sensiblen Nerven bis zum Rückenmarke, und vom letzteren bis zum Muskel zu gelangen.

Die der Physiologie zur Verfügung stehenden Methoden sind nicht für alle diese Momente bis zu dem gleichen Genauigkeitsgrad ausgearbeitet. Für einige derselben ist erst in ganz jüngster Zeit die Erschaffung exacterer Methoden in

Angriff genommen. Was zuerst die Reizmittel betrifft, so sind alle die Mittel, welche den Nerven überhaupt in Erregung zu versetzen vermögen, auch zur Auslösung reflectorischer Bewegungen anwendbar. Während aber gewöhnlich dem elektrischen Strome als Reizmittel der Vorzug gegeben wird, ist bei Reflexbewegungen das Gegentheil der Fall. Die chemischen und mechanischen Reize kommen hier fast ausschliesslich zur Verwendung. Als eine der Ursachen dieser Bevorzugung der chemischen Reize ist wohl der Umstand zu betrachten, dass man es meistens für vortheilhaft hält, die Reflexbewegungen nicht durch directe Reizung der Stämme, sondern durch Reizung der intacten Haut hervorzurufen. Die Application elektrischer Ströme auf die Haut flösste aber manche Bedenken ein, sowohl weil es unmöglich schien dem Nerven ein bestimmtes Reizquantum (Fick) zuzuführen, als weil man das Uebersprungen der Reize auf die Muskeln dabei befürchtete (Meihuizen.)

Von den chemischen Reizen haben Lösungen von Schwefelsäure, von einer so schwachen Concentration, dass sie die Haut reizen ohne sie irgendwie anzugreifen, (von Türk zuerst eingeführt) die meiste Verbreitung gefunden. Solche Reize können Stunden lang periodisch auf die Haut applicirt werden und regelmässige Reflexbewegungen veranlassen, wenn man nur die Vorsicht anwendet, nach jeder Application die berührte Stelle durch Wasser sorgfältig abzuspülen. Intervalle von zwei Minuten genügen meistens dazu, um den Effect vorhergehender Reizung zu verwischen.

Die Application der reizenden Flüssigkeit geschieht in der Weise, dass entweder die Haut an einer circumscripten Stelle mit einem in die Säure getauchten Stabe berührt, oder eine Stelle der Haut, vorzugsweise der hinteren Extremität in die Flüssigkeit getaucht wird. Viel vortheilhafter und genauer ist die von Sanders-Ezn angewandte Methode der chemischen Reizung. Kleine Stückchen Fliesspapier werden bis zu einem Grade von der Säure imprägnirt, dass keine Flüssigkeit von ihnen herabsickern kann, und dann auf die gewünschte Hautstelle applicirt. Auf diese Weise erlangt man die Möglichkeit viel genauer die gereizte Stelle zu umgrenzen. (Als Reiz brauchte Sanders-Ezn Eisessig.) Eine solche genaue Umgrenzung ist nothwendig, um die von den verschiedenen Hautstellen erzeugten Reflexbewegungen einzeln zergliedern und untereinander vergleichen zu können.

Eine genauere Prüfung des Einflusses, welchen der Concentrationsgrad der verdünnten Schwefelsäure auf die Auslösung der Reflexbewegung auszuüben vermag, hat meines Wissens zuerst W. Baxt in Ludwig's Laboratorium unternommen. Da bei seinen Versuchen die nervösen Centra, sowie die motorischen Bahnen, während der Versuchsreihe unter sonst gleichen Bedingungen erhalten wurden, indem nurdie Stärke der Haut reize variirt wurde, so konnte er als Maass für deren Wirkung, nach Türk's Vorgange (s. u.) die Zeit wählen, welche vom Beginne der Einwirkung der Säure bis zum Eintritt der reflectorischen Zuckung verstreicht. Diese Zeit wurde mit Hilfe elektrischer Zeitmessung ganz genau markirt.

Die zu prüfenden Lösungen wurden aus einer titrirten Schwefelsäure hergestellt, welche verschiedene Gehalte von 0,00037 bis 0,00397 besassen. Durch Eliminirung des Einflusses, welchen die Wiederholung der Säureeinwirkung in der obigen Zeit ausüben könnte, gelang es W. Baxt, indem er der Reihe nach in be-

stimmten Intervallen die Scale der Verdünnungen untersuchte, einige methodisch wichtige Sätze abzuleiten. In dieser Beziehung ist hervorzuheben, dass zwischen dem Säuregrad und der Uebertragungsdauer des Reflexes keine directe Proportionalität besteht. Mit annähernder Sicherheit liess sich aus dieser Untersuchung auch feststellen, dass die Reflexzeiten in geometrischer Progression zunehmen, während die Säuregrade nach einer arithmetischen Reihe abfallen. Da der Vorgang, nach welchem die Säure zu der Nervenflüssigkeit gelangt, nach den Regeln der Diffusion geschieht, so folgt aus dieser Abhängigkeit, „dass die reizende Wirkung der Säure nicht blos von der Menge derselben abhängt, welche zum Nerven dringt, sondern auch von der Geschwindigkeit, mit welcher die Zuführung geschieht."

Weniger bekannt ist die Wirkungsweise der mechanischen Reize. Das Kneifen, Quetschen, Stechen u. s. w. bilden so eingreifende Reize, dass sie den Nerven sehr schnell tödten. Das leise Berühren oder Streichen der Haut, welches die sogenannten tactirten Reflexe hervorruft, lässt sich wiederholen, aber auch von ihrer Wirkungsweise als Reizmittel ist noch sehr wenig bekannt.

Elektrische Reize liess man bis auf die jüngste Zeit zur Auslösung von Reflexbewegungen nur auf die Nervenstämme selbst wirken und zwar meistens auf den frei präparirten N. ischiadicus oder auf die hinteren Wurzeln (Pflüger, Setschenow, Fick, Wundt u. A.). Alle Beobachter stimmen darin überein, dass die Wirkungen der elektrischen Ströme auf die sensiblen Nerven sich nicht in derselben Weise äussern, wie auf die motorischen Nerven. Der Hauptunterschied besteht darin, dass einzelne Inductionsschläge nur selten und auch nur bei sehr grosser Intensität eine reflectorische Erregung hervorzurufen im Stande sind. Schliessungsinductionsschläge sind es noch viel seltener im Stande als Oeffnungsinductionsschläge (W. Stirling).

Man muss daher bei, zu solchen Zwecken ausgeführten Reizungen der Nervenstämme meistens Schliessungs- oder Oeffnungsschläge eines beständigen Stromes oder mehrere schnell aufeinanderfolgende Inductionsschläge gebrauchen.

Erst in jüngster Zeit hat es W. Stirling[1]) im Laboratorium zu Leipzig mit Erfolg versucht, elektrische Reize direct auf die Haut einwirken zu lassen. Als Stromgebers bediente er sich genau abgestufter Inductionsschläge, welche in belie-

1) Die von W. Stirling am Schlusse seiner interessanten Untersuchung über die Summation der Reize herbeigezogene Analogie zwischen den Effecten der, in gewissen regelmässigen Intervallen folgenden elektrischen Reize und der durch unterbrochene mechanische Erregungen, scheint mir in gewisser Beziehung nicht ganz zutreffend zu sein. „Ein Stich in die Nasenschleimhaut schmerzt, ein Kitzeln erregt Niesen." Dies hat wohl noch andere Gründe als die Summation der Reize im letzteren Fall. Das Kitzeln und der Stich wirken auf ganz andere Theile: das erste reizt die Nervenenden in der Schleimhaut, der Stich erregt die Nervenfaser. Der Effect ist daher ein ganz anderer. Sowohl die Empfindungen als die Reflexbewegungen variiren qualitativ und quantitativ je nach Hautstellen, deren Nervenendorgane durch leises Kitzeln erregt werden. Starke Insulte aber, wie Stiche, Stösse u. s. w., welche auf die diesen Endorganen zukommenden Nerven einwirken, erzeugen überall Schmerzempfindungen. Sie vermögen aber gleichzeitig auch Reflexbewegungen, meistens abwehrender Natur, hervorzurufen. So erzeugt ein plötzlicher Stich in die Nasenschleimhaut auch immer eine abwehrende Bewegung mit der Hand oder mit dem Kopfe und häufig auch einen Schrei. Dasselbe gilt auch von den anderen Beispiele mechanischer Insulte, die W. Stirling in der betreffenden Arbeit anführt.

bigen, genau regulirbaren Intervallen der Haut zugeführt wurden. Zwei Schlingen von feinem Golddrahte umschlossen die Haut an dem Fussgelenke in einer Entfernung von etwa 5 Mm. Jede Schlinge wurde durch ein kleines Gummistückchen sanft zusammengehalten, ohne aber die Haut zu schnüren. Im gedehnten Gummistück wurde zuvor ein feines Loch gestochen, dass bequem die beiden Enden des Goldfadens durchliess; schrumpfte darauf das Gummistück zusammen, so hielt es die Schlinge fest genug, damit sie nur einem stärkeren Zuge nachgebe. Um die Drähte in ihrem Verlauf zur secundären Rolle sicher von einander zu isoliren, wurden sie mit Kautschukpapier überklebt.[1])

Die zahlreichen Versuche von W. Stirling, welche den Einfluss der Reizintervalle, der Stromintensität und der Zahl der für die Reflexauslösung nothwendigen Stromschläge eruirten, ergaben mehrere Resultate, welche bei der Anwendung elektrischer Reize berücksichtigt werden müssen. Die wichtigsten sind folgende: 1) Die Reflexzeit[2]) kann nur innerhalb enger Grenzen durch Variationen der Intensität einzelner Stromstösse verändert werden. 2) Dagegen kann die Reflexzeit in sehr weiten Grenzen variirt werden durch Abstufungen der Reizintervalle. 3) In den meisten Fällen gehören zu grösseren Intervallen auch eine grössere Zahl von Stromstössen; mit anderen Worten, bei selteneren Stromstössen ist die Reflexzeit nicht nur absolut grösser als bei häufigen, sondern auch grösser als nöthig ist, um dieselbe Zahl der Reize dem Nerven zu ertheilen.

Um die Bahnen zu bestimmen, auf welchen die Erregung sich von der Hautstelle bis zu dem Muskel fortpflanzt, werden verschiedene Methoden gebraucht, die in zwei Gruppen sich zusammenfassen lassen: 1) es werden bei Reizung einer bestimmten Hautstelle der Reihe nach verschiedene sensible Nerven- und Rückenmarksbahnen durchschnitten und bestimmt, bei welchen Durchtrennungen die Reflexbewegung fortfällt; 2) Es werden verschiedene Hautstellen localisirt gereizt und die Muskelgruppen ermittelt, welche von gewissen Hautstellen aus zur Contraction veranlasst werden können. Die erstere Methode ist von Türk, Brown-Séquard, Schiff, Setschenow und A. benutzt worden. Die letztere in Verbindung mit der ersteren ist in einer sehr sorgfältigen und mühseligen Untersuchungsreihe von Sanders-Ezn mit Erfolg angewendet worden.

Die Mittel, welcher sich die erste Methode bedient, sind, insofern sie auf Durchschneidungen verschiedener Rückenmarkspartien auslaufen, schon im vorigen Paragraphen ausführlich behandelt. Dort sind auch die Bedingungen festgestellt, unter denen diese Mittel zuverlässige Angaben zu gewinnen gestatten.

Die von Sanders-Ezn verwendete Methode beruhte darauf, dass er die

---

1) Auch Rosenthal scheint elektrische Reize direct auf die Haut angebracht zu haben; doch fehlt noch die Beschreibung der Methode.

2) Für die Zeit, welche zwischen dem Anbringen des Reizes und der Auslösung der Bewegung verstreicht, werden von den Autoren verschiedene Bezeichnungen gebraucht: „Wirkungszeit" (W. Baxt), „Latenzzeit" (W. Stirling), „Reflexzeit" (Rosenthal), „Reactionszeit" (Exner u. A.) Von diesen Bezeichnungen scheint uns die Rosenthal'sche die unverfänglichste zu sein und werden wir uns ausschliesslich ihrer bedienen. Das Wort „Latenzzeit", der Muskelphysiologie entlehnt, kann zu Missverständnissen Veranlassung geben. Dagegen kann „Reactionszeit" für die gleiche Zeitdauer beim mit Grosshirn noch versehenen Thiere behalten werden. „Reflexzeit" bezieht sich also nur auf Versuche bei einem enthirnten Thiere.

Rückenfläche und die äussere und die innere Seite der hinteren Gliedmaassen mit der Umgebung des Afters in 93 Theile theilte und zur Reizung einer jeden dieser Hautstellen ein entsprechendes Papierstückchen ausschnitt, das er dann mit Eisessig imprägnirte. Nach der individuellen Grösse der verschiedenen Frösche wurden auch die Dimensionen des Papierstücks gewechselt. Die bei Reizung dieser Hautstellen eintretende Gliederstellung wurde gezeichnet, und zwar nicht nur der Richtung sondern auch der Grösse jeder Ausweichung nach.

Es gehört zur letzten Aufzeichnung eine ganz ungewöhnliche Uebung, da die Bewegungen sehr rasch ablaufen und beim oberflächlichen Blick viele Gliederstellungen als gleich angesehen werden können, die im Grunde sich von einander unterscheiden.

Wie die der Sanders-Ezn'schen Abhandlung beiliegenden Tafeln mit Zeichnungen dieser verschiedenen Stellungen beweisen, lässt sich aber bei erlangter Uebung die Reflextopographie mit Hilfe dieser Methode wirklich schaffen.

Die Dauer der Uebertragungszeit der Reflexerregung ist von verschiedenen Beobachtern gemessen worden.[1]) Von den zur Messung verwendeten Methoden können hier nur diejenigen directen Messungen, welche bei geköpften Fröschen angestellt worden sind, berücksichtigt werden. Die Ermittelungen der Reactionszeit, welche am Menschen gewonnen werden, indem man die Zeit bestimmt, welche zwischen dem Momente eines Sinneseindrucks und der darauf erfolgenden Reaction verstreicht, werden, wie schon erwähnt, anderweitig besprochen.

Die meiste Verbreitung unter den hier in Betracht kommenden Methoden hat die von Türk angegebene gefunden. Sie besteht darin, dass man die Fussspitzen eines geköpften Frosches in eine verdünnte Schwefelsäurelösung eintaucht und an den Schlägen eines Metronoms die Zeit bestimmt, welche zwischen diesem Eintauchen und der ersten Bewegung verfliesst, welche die betreffende Extremität des Frosches macht.

Diese Türk'sche Methode kann, schon wegen der ungenauen Art der Zeitbestimmung, nur eine sehr begrenzte Anwendung beanspruchen, da sie nur zur Beobachtung grösserer Schwankungen tauglich ist.[2]) Aber auch in diesen Fällen muss bei Beurtheilung der durch diese Methode gelieferten Werthe im Auge behalten werden, dass sie die Dauer folgender zeitlichen Vorgänge misst: 1) der latenten Reizung der sensiblen Nervenenden, 2) die Fortpflanzung der Erregung bis zur Eintrittstelle der hinteren Wurzeln in das Rückenmark, 3) des Reflexactes, d. h. der Uebertragung der Erregung durch die centralen Verbindungsstücke auf die motorische Wurzel, 4) der Fortleitung der Erregung in den motorischen Nerven und 5) der latenten Reizung des Muskels. Von den unvermeidlichen Fehlern in den Bestimmungen der Momente des Eintauchens und des Eintrittes der ersten Bewegung wird hier abgesehen. Bei bekannter Dauer der Fortpflanzung in dem sensiblen und motorischen Nerv würde man zwar aus der gemessenen Dauer die Reflexion annähernd berechnen können. Es

1) Ed. Weber war der Erste, welcher darauf aufmerksam machte, dass zwischen der Reizung eines sensiblen Nerven und dem Eintritt der reflectorischen Zuckung eine bestimmte Zeit vergeht.

2) In einer besonderen Mittheilung, welche gegen diese von mir beiläufig ausgesprochene Auffassung der Türk'schen Methode gerichtet ist, (Pflüger's Archiv 1875) sucht Setschenow deren Richtigkeit zu bekämpfen. Es bleibt mir aber ganz unverständlich, wie man be-

fehlt aber die dazu noch erforderliche Kenntniss der Dauer der latenten Erregung der sensiblen Nervenenden.

Die Reflexzeit, d. h. die Zeit, welche zwischen der Reizung der hinteren Wurzeln bis zum Gelangen des Reizes auf die vorderen verstreicht, muss daher mit Hilfe der im vorigen Capitel § XI beschriebenen zeitmessenden Methode direct gemessen werden. Bei Gelegenheit der Bestimmungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Rückenmark habe ich mit Hilfe der schon erwähnten Vorrichtungen diese Messungen folgendermassen angestellt. Das eine Mal wurde die Zuckung bei Reizung des centralen Stumpfes der hinteren Wurzeln, das andere Mal bei directer Reizung der vorderen Wurzeln auf der schnell rotirenden Scheibe verzeichnet. Die Differenz der Latenzzeiten zwischen dem Beginn der Reizung und dem Eintritt der Zuckung bei beiden Messungen gab die auf die Auslösung der reflectorischen Erregung im Rückenmark verwendete Zeit[1]). (Dem Frosch wurde vorher in der Rautengrube das Rückenmark durchtrennt. Zur Reizung wurden übermaximale Reize gebraucht.)

---

streiten kann, dass eine zeitmessende Methode die Zeitdauer misst, umsomehr als Setschenow es vermeidet anzugeben, was denn diese Methode seiner Ansicht nach bestimmt. Dass die Dauer eines Vorganges von seiner Intensität abhängig sein könne, das ist selbstverständlich. Es ist aber ganz unstatthaft, bei völliger Unkenntniss dieser Abhängigkeit durch diese Dauer ohne Weiteres die Intensität messen zu wollen. Durch besondere Versuche habe ich übrigens auch direct die Unzulässigkeit einer solchen Messungsweise für die Intensität der Reflexbewegungen dargethan. (S.: „Zur Hemmungstheorie" etc. Ludwig's Jubelband. Leipzig 1874, S. 166.) Uebrigens ist auch von anderen Autoren die Türk'sche Methode nur in demselben Sinne aufgefasst worden, wie der ihr oben gegebene. So weist z. B. schon Goltz, ein in der Physiologie der Reflexbewegungen gewiss competenter Richter, darauf hin, dass die Setschenow'schen Hemmungserscheinungen nur Verzögerungserscheinungen sind: „Noch in anderer Beziehung unterscheiden sich die Vorgänge in meinen Versuchen von denen Setschenow's. Setschenow beobachtete in seinen Versuchen nur eine Verzögerung des Eintritts der Reflexerscheinungen, während in unseren Versuchen die Reflexerscheinung vollständig verschwindet." (Beiträge zur Lehre von den Functionen der Nervencentren etc. Berlin 1869, S. 41.) Setschenow führt zwei Gründe gegen die obige Auffassung der Türk'schen Methode an: 1) dass die von mir gemessene Reflexzeit viel kürzer ist als die Zeit, welche gewöhnlich bei der Türk'schen Messung erhalten wird. Dieser Unterschied ist aber ganz natürlich, denn ich mass ja nur die „Reflexzeit" für die Querleitung im Rückenmark, also nur den einen der 5 Factoren, die Türk misst (s. o.). 2) Dass man die Dauer bei der Türk'schen Methode durch Verdünnung der Säure bedeutend verkürzen kann. „Eine solche Abhängigkeit der Leitungsgeschwindigkeit", schliesst Setschenow, „von der Reizungsstärke ist, so viel ich weiss, unbekannt." Wir brauchen Setschenow nur auf die bekannten Untersuchungen von Helmholtz, Baxt, Place u. A. hinzuweisen, welche alle die grosse Abhängigkeit der Leitungsgeschwindigkeit von der Reizstärke ergeben haben. (Siehe auch in Cap. V, §. XI die Vorsichtsmaassregel, welche ergriffen worden, um durch diese Abhängigkeit bei Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit nicht getäuscht zu werden.) Uebrigens ist diese Abhängigkeit der Reflexdauer von der Reizstärke, wie W. Stirling mit Hülfe sorgfältigerer Prüfungsmethoden nachgewiesen hat (s. oben seinen Satz 1), gar nicht so bedeutend, wie Setschenow es annimmt.

1) In der betreffenden Mittheilung dieser Versuche (Mélanges biologiques de l'Acad. d. Sc. de St. Petersbourg T. IX) hat sich auf S. 279 ein sinnentstellender Druckfehler eingeschlichen: statt „0,02 bis 0,04 Sec." ist die Reflexzeit zu „0,002 bis 0,004 Sec." angegeben. Die mir von Setschenow zugeschriebenen Zahlen von 0,008—0,019 in der Sec. beziehen sich gar nicht auf die Reflexzeit, sondern auf die Leitung im Rückenmarke bei directer Erregung.

Auch Rosenthal hat in jüngster Zeit Messungen der Reflexzeit ausgeführt; eine Beschreibung der von ihm benutzten Methode fehlt noch.

Wie schon oben erwähnt, lässt sich die Türk'sche Methode überall da anwenden, wo die zu erwartenden Schwankungen der Reflexzeit so gross sind, dass sie auch mit ihrer Hilfe festgestellt werden können. Nothwendig ist dabei, wie es W. Baxt und W. Stirling gethan haben, die Momente der Reizung und des Eintretens der Zuckung mittelst feiner elektrischer Zeitmessung genau verzeichnen zu lassen.

Wird während dieser Messungen wie es bei den ebengenannten Untersuchungen der Fall, das centrale Nervensystem sonst keinen Eingriffen ausgesetzt, sondern wird nur der Reiz seiner Stärke oder Häufigkeit nach geändert, so können bis zu einem gewissen Grade aus den unter diesen Umständen für die Dauer des ganzen Reflexvorganges erhaltenen Werthen auch auf die Aenderungen dieses Vorganges selbst Schlüsse gezogen werden.

Die Intensität des Reflexvorganges, eine Grösse, deren Kenntniss von nicht geringerer Wichtigkeit als die seiner Dauer ist, lässt sich viel schwieriger einer directen Messung unterwerfen. Wie schon an anderer Stelle von mir hervorgehoben wurde, kann auf Verstärkung oder Schwächung dieser Intensität „nur auf doppelte Weise Auskunft erhalten werden, entweder wenn gleich starke Reflexbewegung durch eine schwächere resp. stärkere Reizung hervorgebracht wird, oder wenn bei gleichbleibender Stärke der Hautreizung die Intensität der reflectorischen Muskelzuckungen zu- resp. abnimmt" (l. c. S. 274).

Die Aufzeichnung der Muskelzuckungen bei reflectorischen Erregungen ist mit mehreren Schwierigkeiten verbunden. Sanders-Ezn, meines Wissens der Erste, welcher mit Hilfe des auf Taf. 53 Fig. 1 abgebildeten Myographions graphische Aufzeichnung reflectorischer Zuckungen vorgenommen hat, findet diese Bewegungen „zu vielfältig, als dass sie durch die graphische Methode ohne eine grosse Complication des Apparates aufgefasst werden können. Zudem würden die Widerstände, welche durch das Selbstregistriren der Bewegung nothwendig entgegengesetzt werden, gross genug sein, um neue Reizungen zu bewirken" (l. c. Seite 5).

Für den von Sanders-Ezn bei seinen Untersuchungen verfolgten Zweck, wobei Stellungsänderungen aller Abtheilungen der Hinterbeine aufgefasst werden mussten, wären die technischen Schwierigkeiten einer graphischen Aufzeichnung wirklich sehr gross. Sanders-Ezn benutzte daher solche Myographien nur dazu, um bei einigen Muskeln den Eintritt der reflectorischen Zuckung auch bei Ablösung ihrer sehnigen Ansätze vom Knochen zu constatiren.

Für den Zweck, der hier in Betracht kommt, nämlich um aus den Veränderungen der Stärke der Muskelzuckungen Schlüsse auf die Intensitätsvariationen des reflectorischen Vorganges zu ziehen, lassen sich die Schwierigkeiten der graphischen Aufzeichnung überwinden. Bei mehrjähriger Benutzung des Myographions zu solchen Untersuchungen habe ich aus der dabei erforderlichen Befestigungsweise des Frosches für die Beobachtung der Reflexe keinerlei beachtenswerthe Nachtheile beobachtet. Wird nämlich der enthirnte Frosch auf das Brettchen des Marey'schen Myographions auf die gewöhnliche Weise mittelst Stecknadeln und Drähte befestigt, so bleiben die anderweitigen Bewegungen des Thieres während der Reflexreizung ohne jede Wirkung auf den mit der Achillessehne verbundenen Zeichenhebel. Die dabei stattfindenden Verschiebungen der Haut an den fixirenden Drähten sind so

minimal, dass die daraus möglicher Weise entstehende schwache mechanische Reizung der Haut ganz vernachlässigt werden kann.

Ein Mangel, welcher die Anwendung dieses Apparates einschränkt, liegt darin, dass er vorzugsweise für die graphische Aufzeichnung der Contractionen des Gastrocnemius eingerichtet ist. Nun ist aber bekanntlich die Zahl der Hautstellen, von welchen aus reflectorisch die Streckmuskeln erregt werden können, ziemlich beschränkt. Nach den Beobachtungen von Sanders-Ezn, die ich nur bestätigen kann, lassen sich gleichzeitige Streckungen im Fussgelenke nur bei Reizung der Haut am After und an der ersten Zehe hervorrufen. Man muss sich daher bei solchen Versuchen entweder auf Reizungen dieser beiden Hautstellen derselben Seite beschränken, oder aber zur Reizung der Haut der anderen Extremität greifen.

Wollte man aber das Marey'schen Myographion auch für andere Muskeln, besonders für einige Beuger des Kniegelenks einrichten, welche viel leichter reflectorisch erregt werden, so würde es einige Mühe kosten, die Circulation in diesen Muskeln während des Versuches ungestört fortbestehen zu lassen. Diese Mühe würde aber mehr als aufgewogen werden durch die Vortheile, welche die Kenntniss sowohl der Höhe der reflectorischen Muskelzuckung als ihres zeitlichen Ablaufs für das Studium der Reflexe bieten wird.

Das Doppelmyographion (Taf. LI Fig. 1) gestattet gleichzeitig von zwei Muskeln die Zuckungen aufzunehmen, was für Reflexversuche natürlich von Bedeutung ist. Auch das von Sanders-Ezn benutzte Myographion (Taf. LIII Fig. 1) würde für solche Aufzeichnungen von Curven einer beliebigen Zahl von Muskeln sich gut verwenden lassen. Das in derselben Figur wiedergegebene, auch bei den ersten Versuchen von Sanders-Ezn zur Verwendung gekommene Stativ [1]) zur Befestigung des Frosches gestattet eine gewünschte Zahl von Hebeln von der Gestalt des durch *x*, *y*, *z* bezeichneten anzubringen.

Auf der betreffenden Zeichnung ist an dem Stativ *M* noch die Versuchsanordnung abgebildet, welche Stirling bei seinen Versuchen gebraucht hat, um das Moment, wo die Bewegung der hinteren Extremität beginnt, genau zu verzeichnen. Die Pfote des durch die Arme *a* und *b* des Stativs *M* auf die aus der Zeichnung verständliche Weise fixirten Frosches ruhte auf dem Tellerchen *c* aus Kork, das schon W. Baxt bei seinen Reflexversuchen gebraucht hat. Dieses Tellerchen ist an den rechtwinkligen leichten Hebel *d*, der bei *e* seinen Drehpunkt hat, befestigt. Der in Spitzen drehbare Fortsatz *g* trägt die Boeck'sche Zeichenfeder aus Glas (*f*). Das Hebelwerk mit der Zeichenfeder wird dermassen äquilibrirt, dass bei Abhebung der Pfote vom Tellerchen der kürzere Hebelarm sich nach unten senkt. Diese Bewegung wird von der Zeichenfeder auf der berussten Trommel verzeichnet.

Der auf der Zeichnung sichtbare Stromwender ist schon auf Seite 330 beschrieben. Das Moment des Schlusses des reizenden Stromes wurde auf derselben Trommel durch einen gewöhnlichen Reizmarkirer (siehe Seite 443 u. f.) notirt.

Um die Stärke der Reflexzuckungen wenigstens annähernd beurtheilen zu können, unterschied W. Stirling vier Zuckungsgrade: Hebung der Pfote, Beugung des Unterschenkels im Kniegelenke, Beugung des Oberschenkels nebst Unterschenkel

1) Sowohl dieses Stativ wie das in Rede stehende Myographion sind in der betreffenden Mittheilung von Sanders-Ezn nicht abgebildet worden.

im Knie- und Hüftgelenke, und endlich wiederholter Krampfanfall einer oder beider hinteren Extremitäten.

Von den allgemeinen Anweisungen bei Reflexversuchen soll noch Einiges hervorgehoben werden. Für alle Reflexversuche wählt man möglichst kräftige frische Frösche. Um reine Reflexbewegungen zu beobachten, ist es erforderlich, dem Frosch entweder das Grosshirn zu exstirpiren oder, was viel zweckmässiger ist, das Rückenmark vom Hirn durch einen Schnitt unterhalb der Medulla oblongata zu trennen. Um das Thier durch Blutverluste nicht zu schwächen, schiebt man durch die Schnittöffnung auf die mehrmals erwähnte Weise ein Holzstückchen in die Schädelhöhle, womit gleichzeitig das Gehirn zerstört wird.

Sollen die Frösche nach der Entfernung der Grosshirnlappen längere Zeit am Leben erhalten werden, so verwende man besondere Sorgfalt auf die Ausführung der Enthirnung. Der Schädelknochen wird nur so weit abgebrochen, als gerade für die Entfernung der Lappen erforderlich ist. Durch einen scharfen Schnitt werden sie an der gewünschten Stelle durchtrennt, aus der Schädelhöhle herausgeholt, die Hautränder einander genähert und die Wunde geschlossen. Nathanlegung ist nicht erforderlich, da die Wunde auch ohnedem bald zuheilt (Goltz).

Man kann das Grosshirn auch ohne vorherige Hauttrennung und Abtragung eines Theiles des Schädeldachs vom Zusammenhang mit dem übrigen Hirn trennen, wenn man durch Haut und Knochen hindurch ein scharfes Messer in die Schädelhöhle bis zur Basis einstösst und das Hirn nach beiden Seiten durchschneidet. Die Stelle, wo der Stich geführt werden muss, um das Grosshirn gerade zu treffen, liegt in der Mitte der Linie, welche die vorderen Ränder des gut sichtbaren Trommelfells vereinigt (s. Taf. XXI Fig. 7).

Auch an den übrigen Stellen kann das Mark ohne Eröffnung der knöchernen Hülle durchschnitten werden. Die weissen Querstriche auf der betreffenden Figur zeigen die Höhen an, wo die Schnitte geführt werden müssen, um das Mark dicht unterhalb der Medulla oblongata und dicht unter der Brachialanschwellung zu durchtrennen.

Solche Durchtrennungen sind ohne Eröffnung der Wirbelsäule auch bei Säugethieren ausführbar. Durch einen kleinen Hautschnitt an der gewünschten Wirbelhöhle wird ein starkes lancettartiges Messer zwischen zwei Bogen eingestossen und durch zwei ausgiebige Schnitte nach rechts und links das Mark durchtrennt. Die Operation wird erleichtert, wenn durch starke Beugung nach vorn die betreffende Gegend etwas hervorgewölbt wird. Dadurch gewinnt man zwischen dem Bogen mehr Spielraum für das operirende Messer.

Die Ausdehnung der Durchschneidung muss bei der Section mit besonderer Sorgfalt constatirt werden. Die sofort eintretende Lähmung der hinteren Körperhälfte beweist noch nicht das Gelingen der vollständigen Trennung. Eine Quetschung der übrigen Theile, ebenso wie ein Bluterguss, kann momentan die ganze Leitung aufheben. Nach einigen Tagen findet man auch nicht selten die allmähliche Rückkehr einiger Beweglichkeit in der gelähmten Körperhälfte.

Die Reflexerregbarkeit kann bei Säugethieren durch Kneifen, Stechen u. s. w. geprüft werden. Besser ist es aber, in die Pfoten oder in anderen leicht zugänglichen Körperstellen zwei feine nadelförmige Elektroden einzustechen, die mit der Nebenrolle des du Bois'schen Schlittenelektromotors verbunden sind. Man reizt dann die betreffenden Stellen durch kurzdauernde Wechselströme.

Man darf mit der Erzeugung reflectorischer Erregungen nicht unmittelbar nach der vorausgegangenen Marktrennung beginnen. In den ersten Augenblicken nach der Operation sind viele Bedingungen für das sehr unregelmässige Auftreten der Reflexbewegungen gegeben. Beim Frosche genügt gewöhnlich eine Stunde nach der Markdurchtrennung, um die Erscheinungen mit grosser Regelmässigkeit auftreten zu sehen.

Beim Kaninchen und Hunde (das erstere Thier wird bei Reflexversuchen nach dem Meerschweinchen am meisten bevorzugt) muss man zwischen der Durchtrennung und dem Beginne der Beobachtungen einige Stunden verstreichen lassen.

Sollen die Thiere am Leben erhalten werden und während mehrerer Wochen zur Beobachtung dienen, so muss für ihre künstliche Fütterung besonders gesorgt werden. Säugethiere mit durchschnittenem Rückenmarke nehmen die Nahrung von selbst, wenn sie nur in den Bereich ihrer Schnauze gebracht wird. Besonders gierig trinken und fressen solche Thiere sofort nach der Operation, wenn dieselbe mit Blutverlust verbunden war.

Fröschen, denen das Grosshirn entfernt worden ist, muss die Nahrung (Insecten, Fleischstücke von Fröschen) in die Speiseröhre hineingeschoben werden. Sie gedeihen sehr gut bei solcher künstlichen Fütterung und können monatelang zu Versuchen benutzt werden (Goltz).

Versuche über Hemmungen der reflectorischen Bewegungen werden meistens an Fröschen angestellt. Die für diese Versuche erforderlichen Operationen sind in den bis jetzt angegebenen Handgriffen schon enthalten und bedürfen keiner erneuten Beschreibung.

Die Reizung der verschiedenen Hirn- und Rückenmarkstheile, um das Erscheinen der Reflexe zu verzögern, kann ebenso gut mit elektrischen Strömen, als mit Kochsalzkrystallen, geschehen. Am geeignetsten ist es, solche Reizungen an die frische Schnittfläche der Thalami optici (Setschenow) zu appliciren, doch lässt sich dasselbe auch bei Reizung irgend einer anderen beliebigen Hirn- oder Rückenmarksstelle (Schiff und Herzen) erreichen.

Ein nie versagender Vorlesungsversuch ist das Goltz'sche Quakexperiment. Leises Streicheln der Rückenhaut mit dem befeuchteten Finger erzeugt bei dem enthirnten Frosche den bekannten Quakversuch. Gleichzeitiges Kneifen oder Festschnüren einer Extremität unterdrückt dieses Quaken.

§ V. Versuche über Bewegungsstörungen.

Um Beobachtungen über Störungen der normalen Bewegungen des Thieres zu machen, ist es erforderlich, durch lange Beobachtungen sich erst an den Typus seiner normalen Bewegungen zu gewöhnen. Es giebt eine Reihe ganz unbedeutender Abweichungen der einfacheren Bewegungen, welche bei einigen Operationen auftreten, die zwar das Thier nicht hindern, den näheren Zweck dieser Bewegungen zu erreichen, die aber doch schon störende Folgen des gemachten Eingriffs sind.

Nur bei genauerer Kenntniss der normalen Bewegungsformen des Thieres wird man solche kleine Abweichungen erkennen. Diese Kenntniss darf sich aber nicht auf die gewöhnlichen Bewegungen des Thieres, wie das Gehen, Springen, Schwimmen u. s. w. beschränken, sondern muss auch diejenigen umfassen, welche die Thiere nur unter gewissen Umständen ausführen, z. B. wenn sie gewaltsam in ungewohnte

Stellungen gebracht werden, Hindernisse auf dem Wege zu überwinden haben u. s. w. Demgemäss müssen auch, bei durch besondere Eingriffe gesetzten Störungen, diese letzteren, oft an Aufschlüssen reichsten Bewegungsformen mit zur Beobachtung herangezogen werden.

Die meisten operativen Eingriffe, welche bei den hier in Rede stehenden Versuchen in Betracht kommen, sind schon in den früheren Paragraphen beschrieben worden. Hier sollen daher, um Wiederholungen zu vermeiden, nur solche Operationen Platz finden, die noch nicht besprochen wurden. Hierzu gehören an den Gehirntheilen noch die Verletzungen und Abtragungen des Kleinhirns, Durchschneidungen des Pons Varolii, der Pedunculi cerebrelli und der Pedunculi cerebri. Mit Ausnahme der Abtragung des ganzen kleinen Gehirns können die übrigen Operationen ohne Eröffnung der Schädelhöhle bei einiger Uebung mit ziemlicher Sicherheit ausgeführt werden.

Die Abtragung des Kleinhirns wird sowohl bei Vögeln als bei Kaninchen vorgenommen. Auch hier sind von diesen letzteren jüngere Individuen immer vorzuziehen. Wie alle Nagethiere, fangen auch Kaninchen sehr frühzeitig an, sich mit grosser Geschicklichkeit und Behendigkeit zu bewegen. Die Ossificationsprocesse an den Schädelknochen gehen aber bei ihnen sehr langsam von Statten.

Wählt man daher Thiere im Alter von $1\frac{1}{2}$—2 Monaten, so hat man den doppelten Vorzug ausgebildeter Bewegungen und sehr zarter Schädelknochen. Diese Vorzüge sind schon von Flourens hervorgehoben worden.

Von Vögeln werden Tauben am meisten bevorzugt, doch können auch Hühner, Enten u. a. mit Erfolg verwendet werden.

Um das ganze Kleinhirn beim Kaninchen abzutragen, verfährt man am besten in der Weise, dass man das Hinterhauptloch durch Aussägen eines Stücks vom unteren Rande erweitert und durch diese Oeffnung das vorliegende Kleinhirn (bei sorgfältiger Schonung des Pons, der Medulla oblongata und, so weit es geht, auch der Pedunculi cerebelli) abträgt. Die Operation ist bedeutend schwieriger als die Entfernung der Grosshirnlappen, hauptsächlich der grossen Blutung wegen, welche bei etwaiger Verletzung des transversalen Sinus entsteht. Da die Abtragung des Kleinhirns bei Kaninchen keine anderen Folgen als grössere Verletzungen desselben hat, so ist es zum Vermeiden grösserer Blutungen vortheilhafter, seitlich vom Occipitalhöcker in die Schädelhöhle mit einem scharfen Neurotom einzudringen und das Kleinhirn in mehreren Stellen zu durchstechen oder zu zerstören.[1]

Auch bei Tauben ist die Verletzung ohne vorheriges Aufbrechen der Schädelknochen bei Weitem vorzuziehen. Wegen der eigenthümlichen Form des Kleinhirns bei Vögeln geschieht diese Verletzung am besten in folgender Weise. Man dringt oberhalb des Transversalsinus und ganz nahe an der Seite des longitudinalen Sinus mit einem spitzen schmalen Instrumente unter das Schädeldach ein und führt es, möglichst an der Knochenwand bleibend, aber doch mit Vermeidung der Venensäcke, von oben nach hinten in das längliche Kleinhirn ein und zerstört es durch einige nicht zu ausgiebige Bewegungen. Jede andere Operations-

1) Siehe die Eckhard entnommene Zeichnung des Kleinhirns beim Kaninchen auf Taf. XXXV, Fig. 3 und 4.

weise am Kleinhirn der Vögel ist entweder mit Nebenverletzung der Bogengänge oder mit starken Blutungen verbunden.

Zur Durchschneidung des Pedunculus cerebri dient dasselbe Instrument und dieselbe Schnittführung wie bei der intracraniellen Durchtrennung des Trigeminus. In dem Momente, wo die Berührung des Trigeminus sich durch einen Schrei des Thieres kundgibt, wird das Instrument etwas nach oben und hinten gewendet und vorsichtig vorgestossen. Auch für diese Operation ist es nützlich durch eine Marke am Griffe die Strecke, bis zu welcher vorgedrungen werden darf, vorher zu bezeichnen. Um den Pedunculus cerebelli zu durchtrennen, führt man das Instrument etwa in der Mitte zwischen dem Occipitalhöcker und der hinteren Grenze des Felsenbeines ein und stösst es nach vorne unten in der Richtung der Medianlinie hin. Auch hier muss die Strecke, bis zu welcher vorgedrungen werden soll, vorher durch eine Marke festgestellt werden. Verletzungen des Pons Varolii werden dabei selten vermieden. Die sofort nach Freilassung des Thieres auftretenden heftigen Zwangsdrehungen um die Längsaxe des Körpers zeigen das Gelingen der Operation an.

Diese intracraniellen Durchschneidungen sind viel leichter als es dem Ungeübten gewöhnlich erscheint. Es genügt, sie an der Leiche ein paar Mal vorzumachen, um dann mit Sicherheit die erwünschten Bewegungen hervorrufen zu können. Von irgend einer genauen Begrenzung der Verletzung kann natürlich auch bei der grössten Uebung nicht die Rede sein.

Etwas schwieriger sind die Operationen an den Bogengängen; dagegen lassen sie sich bei Beobachtung gewisser Regeln und einiger Uebung sehr sauber und exact ausführen. Wegen der noch in Frage stehenden Deutung der auffallenden Erscheinungen, welche die Durchtrennungen dieser Bogengänge veranlassen, und wegen der von einigen Seiten (Böttcher) [1]) gemachten Einwände gegen die Abhängigkeit dieser Erscheinungen von den Bogengängen selbst sollen diese Operationsregeln hier genauer angegeben werden.

Den schönen Versuchen von Flourens über die Bogengänge, welche längere Zeit in Vergessenheit gerathen waren, wird erst in neuerer Zeit die Aufmerksamkeit der Physiologen zugewendet. Wie aus der von Flourens gelieferten Beschreibung der nach Durchtrennung der einzelnen Bogengänge auftretenden Erscheinungen ersichtlich, hat er nach einer sehr eleganten und vollkommenen Methode experimentirt. Leider hat er aber unterlassen, seine Operationsmethode näher anzugeben. Die später Operirenden haben grösstentheils in so unvollkommener Weise experimentirt, dass die von Böttcher gemachten Einwände, man habe es bei diesen Experimenten mit Mitverletzungen oder Zerrungsfolgen benachbarter Hirntheile zu thun, diesen Experimenten gegenüber wirklich berechtigt sind. Wenn man die so zarten Bogengänge bei einer Taube mit einem Glüheisen zerstört, oder wenn man mit einem Meissel in die betreffende Schädelgegend durch

---

1) In einer kurzen Notiz über die Menière'sche Krankheit sagt Exner, dass Böttcher und Cyon bekanntlich die Gleichgewichtsstörungen nach Durchschneidung der Bogengänge auf Verletzungen des Kleinhirns zurückführen. Dies „bekanntlich" ist auch in Boll's Referat (Centralblatt 1875. No. 29) übergegangen. Bekanntlich ist aber, was mich betrifft, gerade das Gegentheil der Fall.

Muskel und Knochen eindringt und unter heftiger Blutung die beiden Bogengänge gleichzeitig zerbricht, so haben die aus solchen Versuchen, wo die Tauben durch Blutungen zufällig nicht zu Grunde gegangen sind, gezogenen Schlüsse wirklich wenig Anspruch auf Zutrauen.

Wenn nicht die eleganten Versuche von Flourens da wären, der in so anschaulicher Weise die Erscheinungen nach blutloser Durchtrennung jedes einzelnen Bogenganges zergliedert, so würden die meisten der neueren Experimente auf diesem Gebiet der Kritik Böttcher's wirklich nicht widerstehen können. Diese Bemerkung, sowohl zur Herstellung der in jüngster Zeit oft verkannten Verdienste von Flourens als, um trotz der Einwände von Böttcher den Bogengängen ihre directe Rolle bei den Bewegungsstörungen zu vindiciren.

Die verborgene Lage der Bogengänge sowohl wie die unmittelbarste Nachbarschaft des Kleinhirns, eines Organs, dessen Verletzungen mit so ausgesprochenen Bewegungsanomalien verknüpft sind, erheischen bei solchen Experimenten die grösste Vorsicht. Dies um so mehr, als die Operation meistens bei Tauben ausgeführt wird und bei diesen Thieren wegen der Kleinheit der Theile und wegen der Anastomosen, welche zwischen den Blutgefässen der zarten Knochenwand, in welche die Bogengänge eingebettet sind, mit den Blutgefässen des Kleinhirns bestehen, eine Blutung beim Aufsuchen der Bogengänge unvermeidlich zu Blutinfiltrationen der Schädelknochen, der Hirnhäute und des Kleinhirns führt. Die erste Bedingung für beweisfähige Versuche an den Bogengängen ist also deren Blosslegung ohne den geringsten Blutverlust.

Eine solche Blosslegung ist auch darum unumgänglich nothwendig, weil nur sie es gestattet an den einzelnen Bogengängen isolirt und elegant zu experimentiren, also die mannigfachen Bewegungsanomalien rein zu beobachten, welche von den einzelnen Kanälen aus hervorgerufen werden.

Die Thiere, welche zu solchen Experimenten mit Erfolg benutzt worden, sind Tauben, Kaninchen und Frösche.

Zuerst soll die Versuchsmethode für Operationen an Tauben, wie ich sie schon bei der Mittheilung der Versuche von Solucha kurz angegeben, beschrieben werden.

Der, auf die schon mehrfach beschriebene Weise, befestigten Taube wird die Haut auf dem Hinterhaupt mit einer krummen Scheere von Federn befreit und dann in der Medianlinie gespalten.

Bei Durchschneidung der Haut muss man sich vor Verletzung der feinen, unter derselben in der Verbindungslinie der Nervenmusculatur beider Seitenhälften liegenden Blutgefässe hüten. Um sich davor zu schützen, bildet man eine Querfalte aus dieser Haut und durchschneidet sie mit einer Scheere oder man verschiebt die Kopfhaut auf den muskellosen Theil des Schädeldachs und durchschneidet sie hier mit einem scharfen Messer.

Die sich am Hinterkopfe ansetzenden Muskeln sind sehr gefässreich und ihre Verletzung mit scharfen Instrumenten führt starke Blutungen herbei. Die Gefässe sind besonders stark entwickelt in der Medianlinie und dann in der Mitte des Längsverlaufs ihrer Fasern. Man beobachte daher beim weiteren Operiren die Regel, weder der Mittellinie sich zu nähern noch die Muskeln weiter als etwa 3—5 Millimeter tiefer als ihr oberer Ansatz zu verletzen. Am besten ist es, man

dringt zur knöchernen Hülle an der Grenze zwischen dem äusseren Rande des breiten Nackenmuskels und dem inneren eines schmaleren Muskels vor, welcher sich nahe an ihm ansetzt. Diese Grenze wird durch einen weisslichen Streifen deutlich angezeigt. Man trennt mit einer stumpfen Nadel die beiden Muskeln vorsichtig von einander, und indem man den äusseren Rand des breiteren Muskels nach innen leise verschiebt, bekommt man die Knochenhülle und die unter derselben durchschimmernde Kreuzungsstelle des horizontalen Kanals mit dem kleineren (unteren) verticalen zu Gesicht.

Will man den Knochen noch weiter blosslegen, was für das Operiren an dem grösseren (oberen) Verticalkanal durchaus erforderlich ist, so muss man auf einer Strecke von 2 Millimetern den oberen Ansatz des breiteren Muskels, von seinem äusseren Rande beginnend, vom Knochen abschaben oder mit einer feinen Scheere abtragen. In beiden Fällen muss aber die Knochenhaut gleichzeitig mitgenommen werden, so dass die Muskelfasern nicht verletzt werden.

Werden alle die beschriebenen Manipulationen sauber ausgeführt, so darf bei vorsichtigem Operiren kein Tropfen Blut verloren gehen. Die erhaltene Wunde genügt für jedes weitere Operiren an den Kanälen, das ebenfalls ohne Blutungen vollzogen werden muss. Die ganz feine glashelle Knochenlamelle, die als Dach für die aus Knochenzellen gebildete Höhle dient, in welcher die Kanäle liegen, enthält ein Blutgefäss, das man bei Abhebung des Dachs sorgfältig vermeidet. Dieses Gefäss hat einen gekrümmten Verlauf und läuft zuerst parallel dem unterhalb der Kreuzungsstelle liegenden Theil des kleinen verticalen Kanals, biegt sich dann nach hinten oben wendend um, und verläuft eine kleine Strecke oberhalb des hinteren Theiles des horizontalen Ganges (S. Taf. XXV Fig. 5).[1] An diesen Stellen ist daher das Dach zu schonen. Man eröffnet es am besten im vorderen oberen Winkel des Kreuzes, welchen der horizontale mit dem verticalen Kanal bildet. Die Eröffnung geschieht am besten, indem man zuerst die Spitze des einen Armes einer feinen Pincette sanft einsticht und ein Stückchen Knochen abhebt.

Mit derselben Pincette werden dann sowohl der Rest des Daches, in den durch den Verlauf des erwähnten Blutgefässes gesetzten Grenzen, als auch die Knochenzellen entfernt, welche die Kanäle umgeben. In den vorderen beiden Winkeln des Kreuzes kann man diese Knochenzellenentfernung dreist vornehmen und kann hier in die Tiefe so weit dringen, dass die, besonders durch den unteren vorderen Winkel leicht zugänglichen Ampullen frei vorliegen.

Vorsichtiger muss man zu Werke gehen beim Blosslegen der hinteren Winkel. Der untere von ihnen wird besser ganz umgangen, indem die Dachentfernung hier ohne Blutung fast unmöglich ist. Bei der Präparation des oberen Winkels muss man nur die Vorsicht bewahren, am hinteren Rande das dem knöchernen Kanal anliegende Blutgefäss zu schonen. Dieses Blutgefäss biegt sich genau an der Kreuzungsstelle nach unten, und verläuft dann, dem hinteren Theile

---

1) Die Zeichnung der Bogengänge ist etwas schematisch gehalten. Das Schema genügt aber, um das hier empfohlene Operationsverfahren verständlich zu machen. Der verticale Kanal liegt an der Kreuzungsstelle hinter dem horizontalen (s. Figur) und nicht vor demselben, wie es mehrmals angegeben worden ist.

des horizontalen Ganges von unten anliegend. Auch durch den hinteren oberen Winkel des Kreuzes kann man leicht bis zu den Ampullen dringen.

Der obere verticale Bogengang (den ich früher wegen Mitverletzung des Kleinhirns für schwer erreichbar erklärt habe, weil die hintere Wand seines knöchernen Kanals unmittelbar dem Kleinhirne anliegt) ist, wie ich mich bei grösserer Uebung jetzt überzeugt habe, auch leicht zugänglich. Insofern das ihn begleitende Gefäss beim Operiren leichter zu vermeiden ist, als das dem horizontalen Kanal anliegende Blutgefäss, ist seine Durchtrennung oft sogar leichter, als die des letzteren. Nur darf er nicht zu weit nach hinten aufgesucht werden (ein Fehler, den ich früher zu begehen pflegte), sondern im oberen hinteren Winkel nahe der sichtbaren Umbiegungsstelle des kleinen verticalen Bogenganges. .

Sind die knöchernen Gänge so weit blossgelegt, so kann man die weiteren Operationen an ihnen mit grosser Reinheit vollführen. Wenn bloss die Folgen der reinen Durchschneidungen beobachtet werden sollen, so verfährt man am besten in der Weise, dass man mit einer feinen, spitzen, aber gut federnden Pincette den knöchernen Kanal vorsichtig an einer Stelle aufmacht. Man darf dabei den Knochen nicht mit einem Mal durchbrechen, sondern muss ihn durch leises Schaben immer dünner machen, bis ein kleines Loch entsteht. Die Lymphe fliesst aus einer solchen Oeffnung nicht aus und kann man bei günstiger Beleuchtung ein Pulsiren dieser Flüssigkeit wahrnehmen, das wahrscheinlich durch das in dem membranösen Gang verlaufende Blutgefäss bedingt wird (ähnlich wie die an der Cerebrospinalflüssigkeit sichtbaren Pulsationen).

In die so gemachte Oeffnung wird mit einer feinen Scheere eingedrungen, deren Spitzen in einer Weise von einander entfernt werden, dass sie den gegenüberliegenden Rändern der Oeffnung anliegen und beim weiteren Eindringen den häutigen Kanal zwischen sich erfassen und durchschneiden.

Auf diese Weise wird die reinste Durchschneidung des Bogengangs erzielt. Weniger elegant, aber fast ebenso rein ist es, mit einer feinen Scheere den knöchernen mit dem häutigen Kanal gleichzeitig zu durchtrennen. Dies kann ohne jede Gefahr von Blutungen geschehen, wenn man den kleinen verticalen Kanal unterhalb, und den horizontalen [1]) vor der Kreuzungsstelle durchtrennt, wo sie von keinen Blutgefässen begleitet sind. Werden der grosse (obere) verticale Kanal oder die letztgenannten Kanäle an anderen Stellen durchschnitten, so muss man die Bewegungen der Scheerenblätter sicher beherrschen, um nicht die Gefässe mit zu durchschneiden.

Man führt zuerst vorsichtig die Spitzen der Scheere um den knöchernen Bogengang bis zur knöchernen Hülle der ihn begleitenden Gefässe vor und drückt die Scheere erst zusammen, wenn man sicher ist, das Gefäss nicht mitzunehmen.

Ist man seiner Hand nicht ganz sicher, so muss man eine kleine an sich übrigens ganz unschuldige Zerrung des häutigen Bogenganges nicht scheuen und folgendermassen verfahren. Nachdem auf die oben beschriebene Weise eine kleine Oeffnung in den knöchernen Bogengang gebohrt ist, erweitert man sie ein wenig, indem man mit der Pincette kleine Stückchen Knochen an den Rändern abbricht,

---

1) Nicht selten wird der horizontale Bogengang auch eine kleine Strecke vor der Kreuzungsstelle noch von einem Blutgefässe begleitet.

führt dann eine feine Nadel unter den häutigen Gang und hebt ihn ein wenig empor. Dieser kann dann mit einer feinen Scheere sicher durchtrennt werden.

Bei Demonstrationsversuchen kann man die Bogengänge auch durchtrennen, indem man sie sammt der knöchernen Hülle mit einer Pincette zerdrückt.

Ausser Durchschneidungen lassen sich an den blossgelegten Bogengängen auch viele andere Eingriffe mit grosser Eleganz und Sicherheit ausführen. Einführung feiner hakenförmiger Elektroden aus Goldfäden durch zwei feine Oeffnungen in den knöchernen Gang, Aussaugen der Lymphe mit einer feinen Pravaz'schen Spritze oder Einspritzungen in diese Canäle, Anlegung erwärmter oder abgekühlter Stäbchen, mechanische Reizungen durch Nadelstiche u. s. w. lassen sich sehr gut anwenden, wenn einmal die Blosslegung ohne Blutung geschehen ist. Jede, auch die geringste, Blutung erzeugt dagegen durch Infiltration des spongiösen Knochens eine unreine Wunde, in welcher feineres Operiren mit grossen Schwierigkeiten verbunden ist. Kleine Blutungen beim Entfernen des Muskels müssen mit angedrückten Schwämmchen oder Pengavar gestillt werden, ehe zur Abtragung des knöchernen Daches geschritten wird.

Die sonst leichten Manipulationen an diesen Theilen werden nur durch die ganz ausserordentliche Zartheit und Kleinheit der Theile erschwert. Mit guten Augen und mit Fingern, deren Bewegungen man bis zu den feinsten Nuancen immer in seiner Gewalt behält, lassen sich hier die erstaunlichsten Resultate erzielen. So kann man sämmtliche häutigen Bogengänge im Zusammenhange mit ihren Ampullen (auf beiden Seiten) mittelst einer feinen Pincette durch kleine Oeffnungen in den knöchernen Gängen herausziehen. Wie die Untersuchung unter dem Mikroskope zeigt, gelingt dies, ohne sonstige Continuitätstrennungen an ihnen zu veranlassen. Aufbrechen der knöchernen Bogengänge ohne Blutungen ist aber dazu unumgängliches Erforderniss.

Da auch bei den auf die beschriebene Weise operirten Tauben die bekannten Bewegungsstörungen in der prägnantesten Weise auftreten, so sind die Einwände von Böttcher über Blutungen, Entzündungen und Zerrungen des Gehirns hiermit erledigt. Die Versuche von Flourens wurden nicht, wie Böttcher vermuthet, in der Weise ausgeführt, dass er zu den Canälen von der Paukenhöhle aus gedrungen. Wie aus den kurzen Angaben, die Flourens über seine Versuche macht, unzweideutig hervorgeht, ist er in einer ähnlichen Weise, wie oben beschrieben wurde, von hinten durch die Hinterhauptsknochen zu denselben gelangt. Böttcher's Einwände wegen Zerrungen des Hirns könnten sich schon darum nicht gegen die Versuche von Flourens und die von mir mitgetheilten richten, weil die von uns beschriebenen Verschiedenheiten in den Bewegungsanomalien, je nach dem Bogengangpaare, welches verletzt wird, schon von vorne herein jeden Verdacht auf Täuschung durch Nebenverletzungen ausschliesst [1]).

---

1) In einer nächstens zu veröffentlichenden Untersuchung über die Functionen der Bogengänge werde ich näher auf diese Fragen eingehen. Hier sei mir nur die Bemerkung gestattet, dass aus derselben unzweideutig hervorgeht, dass die Flüssigkeitshypothese von Mach, Breuer und Crum Browne nicht haltbar ist und dass die an sich im hohen Grade lehrreichen Beobachtungen, welche Mach bei den Versuchen an sich selbst gemacht hat, kaum Etwas mit den Bogengängen zu schaffen haben.

An Kaninchen führte Flourens ähnliche Versuche aus, indem er bei jungen Individuen das Felsenbein erbrach und den einen horizontalen Canal blosslegte. Der Hautschnitt wird in der Mitte zwischen dem hinteren Rand des Unterkiefers und dem Rande des knöchernen Gehörganges, dem ersteren entlang, geführt. Der Muskel, welcher den äussern Rand des Felsenbeins bedeckt, wird mit Schonung der auf dem Wege liegenden grösseren Vene in der Richtung des Hautschnitts getrennt. Die zum Vorschein kommende Knochenfläche hat die Form eines Dreiecks, dessen Spitze nach unten gerichtet ist und dessen vordere Seite von dem knöchernen Gehörgange gebildet wird. Auf der gleichen Höhe mit der Oeffnung dieses Ganges liegt der horizontale Canal. Der Knochen wird in diesem Dreiecke vorsichtig mit einem Messer oder einer Zange aufgebrochen und in der unteren Wand der eröffneten Höhle der etwas hervorstehende horizontale Canal gefunden und durchschnitten.

Der hintere verticale Canal wird an seiner Kreuzungsstelle mit dem horizontalen Canal in der hinteren Wand der Höhle aufgesucht.

Diese Operation ist von Dr. Bornhardt oft mit Erfolg ausgeführt worden. Der grössere Verticalcanal ist, wenn überhaupt, so doch nur sehr schwer ohne Verletzung des Hirns zu durchtrennen. Auch Flourens musste darauf verzichten.

Am schwierigsten ist die Operation bei Fröschen auszuführen, und zwar sowohl wegen der ausserordentlichen Zartheit der häutigen Bogengänge, die sich oft nur mit der Loupe gut unterscheiden lassen, als auch wegen der Nothwendigkeit, in einem äusserst beschränkten Raume bei der sehr nachgiebigen knorpeligen Umgebung sicher zu operiren. (Die Operation ist zuerst von Dr. Bloch bei Böttcher und dann von Solucha in meinem Laboratorium häufig ausgeführt worden.)

Die hier in Betracht kommende knöcherne Hülle des Gehörganges liegt an der äusseren Seite des Os occip. lat., von ihm (bei der Rana esculenta) durch einen Knorpel getrennt. Bei der R. temporaria ist dieser Knorpel oft verknöchert. Ihr vorderer Rand grenzt an die Orbita.

Man sieht das Os petr. als kleine erhabene Fläche, die in der Richtung zu den am höchsten liegenden Condyli oss. occip. etwas nach unten sich neigt. Auf dieser Fläche sind drei schwache Erhebungen erkennbar, welche die bogenförmigen Canäle bedecken. Die höchste dieser Erhebungen, welche am meisten nach hinten liegt, entspricht dem kleinen verticalen Canal.

Dieser Canal wird zuerst aufgesucht. Zu diesem Zwecke wird die Haut oberhalb des Os petr. mittelst eines bogigen, mit der Concavität zu dem äusseren Gehörgange gerichteten Schnittes durchtrennt und eine an der convexen Seite nach hinten zu gelegene Vene doppelt unterbunden und durchschnitten.

Man muss sich vor ihrer Verletzung hüten, da sie sonst während der ganzen weiteren Operation störende Blutungen erzeugt. Indem der Kopf des Frosches etwas nach hinten geneigt wird, wird unmittelbar vor dieser Vene das zarte Knochenstück, welches den verticalen Canal bedeckt, abgehoben. Die ausfliessende Lymphe zeigt die Eröffnung an. Der sehr feine häutige Canal wird mit einer Nadel hervorgehoben und durchschnitten. Eine Loupe ist zur Auffindung desselben, wie auch der übrigen Canäle, oft unumgänglich nothwendig und sichert jedenfalls das Gelingen der Operation.

Schwieriger ist die Auffindung des horizontalen Canals; dagegen gelingt dessen Durchschneidung ohne Blutverlust, der bei der ersteren Operation meistens auch nach Unterbindung der Vene nicht zu umgehen ist. Der ihm entsprechende Vorsprung in der besagten Fläche des Os petros. ist sehr flach und verläuft an deren vorderem Rande von vorn oben nach hinten unten.

Der zweite verticale Canal befindet sich theilweise zwischen diesen beiden und ist von vorne aussen nach hinten innen gerichtet.[1])

Bei welchem der genannten Thiere die Operation an den Bogengängen auch vorgenommen wird, immer muss eine vielmalige Präparation der betreffenden Gegend den Versuchen vorausgehen. Bei der unregelmässigen Gestalt der hier in Betracht kommenden Theile, bei ihrer Kleinheit und der Verborgenheit ihrer Lage kann keine Beschreibung oder Abbildung des Operationsverfahrens die nach vielfacher eigner Präparation zu erlangende Fertigkeit, in der Gegend sich zu orientiren, und die für solche Versuche erforderliche Uebung ersetzen.

§. VI. Operationen an dem Sympathicus.[2])

In den früheren Capiteln sind die wichtigsten an den sympathischen Nerven und Ganglien vorzunehmenden Operationen schon beschrieben. (Siehe Cap. II §. XIII, Cap. IV §. I und V.) Es erübrigt hier, noch einige Operationsverfahren an sympathischen Nerven und Ganglien zu beschreiben, welche an jenen Stellen unberücksichtigt geblieben sind.

Von diesen Ganglien bieten dem operativen Eingriffe die meisten Schwierigkeiten: das Ganglion oticum und Ganglion spheno-palatinum. Diese beiden Ganglien kamen bis jetzt hauptsächlich bei Versuchen über die Speichelsecretion in Betracht. Das mit dem N. petrosus superficialis minor in Verbindung stehende Ganglion oticum wurde von Cl. Bernard und Schiff mehrmals exstirpirt. Am besten eignen sich zu dieser Exstirpation Kaninchen und Katzen. Bei beiden Thieren muss dazu die Austrittsstelle des N. maxillaris inf. aus der Schädelhöhle aufgesucht werden. Beim narkotisirten Thier wird die vordere und hintere Partie der Bulla ossea blossgelegt und, der Furche zwischen derselben und der Schädelbasis folgend, die Art. meningea media aufgesucht. Dieselbe wird unterbunden und durchschnitten. Zwischen den Muskelmassen weiter vordringend, wird das Foramen ovale aufgesucht, durch welches der N. maxill. inf. austritt. Nach aussen und etwas nach unten von dieser Austrittsstelle liegt das stecknadelkopfgrosse Ganglion oticum, das man mit einer Pincette ausreisst.

Das Ganglion spheno-palatinum, das mit den Nn. petrosus superfic. major und petrosus profundus major in Verbindung steht, wurde von Cl. Bernard bei Hunden exstirpirt. Bei diesem Thiere liegt dieses Ganglion getrennt von dem N. max. sup. in der Fossa pterygoidea. Um es aufzufinden, muss man den Arcus zygomaticus mit einer Zange an zwei Stellen durchbrechen und entfernen. Indem man mit einem Häkchen das Auge etwas in die Höhe hebt und nach innen zieht,

---

1) Die nach den Durchtrennungen dieser Bogengänge auftretenden Bewegungsstörungen sind von mir nach Solucha's Versuchen in Pflüger's Arch. 1873 beschrieben.

2) Unter sympathischen Nerven werden hier kurzweg alle Nerven zusammengefasst, welche glatte Muskelfasern beherrschen.

wird an der Orbita der N. maxill. sup. aufgesucht und ihm bis zu dem Ganglion gefolgt. Seine Ausreissung ist von heftigem Schmerz begleitet.

Die Operationsverfahren an den Hals- und Brustganglien, sowie an den sympathischen Nerven sind in Cap. II schon ausführlich besprochen. Die Operationen an den in der Bauchhöhle gelegenen sympathischenGanglien (Plexus coeliacus und Plexus mesentericus) sind bis jetzt nur bei eröffneter Bauchhöhle ausgeführt worden. Das Verfahren zur schonendsten Eröffnung der Bauchhöhle ist in Cap. IV mehrmals angegeben worden. Das Aufsuchen dieser neben der Aorta und der V. cava inf. gelegenen Ganglien geschieht in derselben Weise wie die Aufsuchung der Nn. splanchnici von der Bauchhöhle aus. Die Lage dieser Ganglien beim Kaninchen ist auf Taf. XXV Fig. 5 sichtbar. *A*, Aorta; *V*, Vena cava inf.; *C*, vena renalis dextra; oberhalb der Eintrittsstelle der Vena renalis in die Cava inf. liegt das Ggl. coeliacum sup. *Sp* bezeichnet den N. splanchn. sinister, *a* die beiden Grenzstränge und *b* den Plexus mesentericus inf.

Bei den an dem Plexus coeliacus bis jetzt ausgeführten Exstirpationen (Cl. Bernard, Adrian, Lamansky) gingen die Thiere wegen der Eröffnung der Bauchhöhle nicht selten kurze Zeit nach der Operation zu Grunde. Es würde bei Wiederholung dieser Versuche sich lohnen, dass man zu dem Plexus coeliacus von hinten aus, wie bei der oben (Seite 193) beschriebenen Präparation des Splanchnicus, ohne Oeffnung der Peritonealhöhle, zu gelangen suche. Eine auf diesem Wege ausgeführte Exstirpation würde wahrscheinlich vom Thiere besser vertragen werden.

Von den anderen Nerven, welche in der Bauch- und der Beckenhöhle zu Versuchszwecken herangezogen werden, stehen die Nn. erigentes obenan. Sowohl die Operationsmethoden als die Zeichnung der betreffenden Gegend (Taf. XXXIV Fig. 1)[1]) gehören Eckhard.

Die früher von diesem Experimentator zur Präparation und Reizung des N. erigens angewendeten Verfahren, sowohl das von der Linea alba, als das von dem Damme aus, können jetzt als zu schwierig aufgegeben werden. Dagegen gestattet die dritte Eckhard'sche Methode eine sehr leichte und elegante Ausführung des Versuchs. Wir lassen die Beschreibung mit Eckhard's eigenen Worten folgen:

„Zuerst mache ich einen Hautschnitt vom äusseren Leistenring an aufwärts, parallel der Linea alba. Eine Wunde von der Länge eines Fingers genügt. Dann trenne ich in derselben Richtung und Ausdehnung die Aponeurose des äusseren schiefen Bauchmuskels, schneide sie überdies auch am äusseren Leistenringe, etwas quer nach innen und aussen, ein. Hierauf spalte ich in derselben Weise den Rest des vorderen Blattes der Vagina rectorum und ziehe den äusseren Rand des Musculus rectus nach der Mittellinie hin, die an ihren Aponeurosen getrennten übrigen Bauchmuskeln nach aussen durch passende Haken zurück. Endlich werden die hinter dem Rectus, nahe an seinem äusseren Rande in die Höhe steigenden Vasa epigastrica doppelt unterbunden. Die eine Ligatur kommt in die Nähe des inneren Leistenringes zu liegen, die andere so weit nach oben, dass, wenn man zwischen beiden durchschneidet, man hinlänglich Raum hat, in das Becken vorzudringen. Etwa noch blutende Aestchen der genannten Gefässe werden gesondert unterbunden. Nach der Durchschneidung des Peritoneums hat es nicht die gering-

1) Die Figur muss bei ihrer Betrachtung umgekehrt werden.

sten Schwierigkeiten mehr, den Nerven zwischen der Blase und der seitlichen Beckenwandung aufzufinden."

Auf der erwähnten Figur ist *c* der N. erigens; er entstammt meistens mit einigen Zweigchen aus dem den Sacralnerven gehörenden Theile des Plexus ischiadicus und verknüpft sich zu den Seiten der Prostata und Blase mit dem Plexus hypogastricus *d*, welcher vom Ggl. mesenteric. post. *(10)* die Zweige *(11)* erhält. Dieser Nerv verläuft den Blutgefässen der Blase *a* und *b* entlang und von ihnen verdeckt. Die Vene *a* liegt mehr nach vorn, die Arterie *b* mehr nach hinten von dem Nerven.

Die Fäden des Plexus hypogastricus, welche die Erection bewirken, begeben sich hauptsächlich zu der Pars membranacea urethrae. Dem entsprechend muss bei dem Versuch vorzugsweise das Corp. cavern. urethrae berücksichtigt werden.

Es genügt, um den Erfolg der Reizung der N. erigentes zu beobachten, dieses Corpus cavern. blosszulegen. Noch deutlicher ist dieser Effect der Reizung, wenn dieses letztere angeschnitten wird oder einzelne Schichten von ihm abgetragen werden. Der heftige zur Eichel gerichtete Blutstrahl bei der Reizung des N. erigens veranschaulicht am besten seine gefässerweiternde Wirkung (Eckhard, Lovén[1]).

Bei Versuchen über die Erection kommt noch der N. pudendus communis in Betracht. Dieser vom unteren Theile des Plex. ischiadicus stammende Nerv wird im Cavum recto-ischiadicum aufgesucht. Durch geeignete Lagerung des Thieres und weites Auseinanderziehen der hinteren Extremitäten wird der Damm dem Operirenden leicht zugänglich gemacht. Während der Hodensack stark nach vorn abgezogen wird, legt man durch einen Kreuzschnitt durch die Haut des Dammes das Cavum recto-ischiadicum bloss. Das Unterhautgewebe und das hier befindliche Fett wird vorsichtig, bei Unterbindung aller kleinen Venen, abpräparirt. Etwa in der Mitte zwischen dem Tuber ischii und dem After verläuft in der Wunde ein stärkerer Hautnerv, dem folgend man leicht zu der Art. und V. pudend. Comm. gelangt. Der N. pudendus communis, welcher auch die Mm. bulbo- und ischio-cavernosus mit Fasern versorgt, verläuft zwischen diesen Gefässen, ihnen parallel und etwas oberflächlicher, als die Art. pudenda comm., die dem After näher liegt als die entsprechende Vene.[2])

Zu Versuchen über die Erectionsnerven werden junge, kräftige Hunde gewählt, die man, um das Abstossende des Experiments zu vermindern, mit Curare vergiftet. Doch gelang es Eckhard unlängst, auch bei Kaninchen die Erection durch Reizung von Nerven zu erzielen. Der dem N. erigens beim Hunde entsprechende Nerv ist beim Kaninchen wenig wirksam.

Dagegen ist in dieser Hinsicht ein anderer vom Plexus hypogastricus sup. herrührender Nerv (s. Taf. XXV Fig. 4) im Stande, bei Reizung einen heftigen Blutandrang zu dem Bulbus cavernosus penis des Kaninchens zu veranlassen. Dieser bei Eröffnung der Bauchhöhle in der Linea alba leicht an der Theilungsstelle der Aorta abdominalis zu findende Nerv ist derselbe, welcher nach Loeb

---

1) Von den übrigen auf der Zeichnung sichtbaren Theilen sind noch folgende hervorzuheben: *1* die Harnblase; *2* das Rectum; *3* die Prostata; *4*, *4* die Samenstränge; *7* die Harnleiter; *0* Vasa spermatica; *8* Aorta; *9* Vena cava inf.

2) Siehe die Zeichnung dieser Gegend bei Eckhard l. c. Taf. VI.

Bewegungen der Samenleiter, und nach Scherschewsky Uterusbewegungen beim weiblichen Kaninchen erzeugt. Wegen der leichten Präparation dieses Nerven empfiehlt ihn Eckhard besonders für Vorlesungsversuche, um sich das immer etwas mühseligere Aufsuchen der Nn. erigentes beim Hunde zu ersparen.

Sowohl bei weiblichen Kaninchen als bei Hündinnen lassen sich durch Reizung des ebenerwähnten Astes vom Plex. hypogastr. Bewegungen des Uterus erzielen: dies aber nur bei trächtigen oder schon niedergekommenen Individuen. Beim jungfräulichen Uterus kann man, wie die in meinem Laboratorium ausgeführte Untersuchung von Scherschewsky gelehrt hat, nur Steifungen des Uterus erhalten, die Folgen von starker Gefässverengerung sind. Solche Steifungen erhält man auch durch alle andern Eingriffe, welche stark erregend auf die vasomotorischen Nerven wirken, so z. B. durch Reizung sensibler Nerven.

Wirkliche peristaltische Bewegungen des Uterus kann man noch erzeugen durch Reizungen des centralen Stumpfes des *1.* und *2.* Sacralnerverven. Auch für diese Reizungen sind jungfräuliche Uteri nicht zu verwenden. Die Blosslegung und Präparation der Sacralnerven ebenso wie des Zweiges des Plexus hypogastricus geschieht, wegen der bei der Beobachtung des Uterus doch nicht zu vermeidenden grösseren Eröffnung der Bauchhöhle, durch einen ausgiebigen Schnitt in der Linea alba. Die isolirte Reizung der oberen Sacralnerven ist mit grossen Schwierigkeiten verbunden; am besten benutzt man dazu die Ludwig'schen Elektroden für tiefliegende Nerven (Taf. IV. Fig. 3 und 3a), obgleich auch deren Anlegung in der Tiefe der Beckenhöhle nicht leicht ist.

Die zu solchen Versuchen benutzten Thiere können mit Curare vergiftet werden; die Vergiftung darf aber nicht zu stark sein. Besondere Sorgfalt muss auf die Unterhaltung einer ausgiebigen künstlichen Athmung verwendet werden, da schon geringe Anhäufungen von CO_2 im Blute sich auf die Musculatur des Uterus in ausgeprägter Weise äussern. Zur Reizung darf erst geschritten werden, nachdem die bei Blosslegung des Uterus sich immer einstellenden heftigen Bewegungen sich gelegt haben. Durch Schluss der Bauchdecken und Auflegung warmer Tücher auf dieselben werden diese durch den Reiz der Luft und der mechanischen Berührung bei Aufsuchung der Nerven hervorgerufenen Bewegungen am ehesten beruhigt.

Durchschneidungen und Reizungen verschiedener Theile des Rückenmarks und des Gehirns, um über die Centra der hier besprochenen Nerven ins Klare zu kommen, werden nach den in den früheren Paragraphen gegebenen Regeln ausgeführt.

Es erübrigt noch am Schlusse die Beschreibung einiger an verschiedenen Theilen des Nervensystems auszuführender Operationen, um künstlichen Diabetes zu erzeugen.

Vorerst soll der classische Versuch von Cl. Bernard, die Piqûre beschrieben werden. Zur Ausführung dieser Operation verwendete Cl. Bernard das sehr zweckmässige, auf Taf. I Fig. 3 abgebildete Instrument. Die Spitze dieses Instrumentes hat die Form eines abgeplatteten mit Schneide versehenen Stäbchens. In der Mitte dieser Schneide ragt eine etwa 1 Mm. lange dünne Spitze hervor; letztere dient dazu, um bei Einführung des Instrumentes in die Medulla oblongata die Schneide nicht weiter als über die mittlere Schicht der Medulla gelangen zu lassen. Die auf die Basis cranii anstossende Spitze verhindert das weitere Vordringen der Schneide.

Der Kopf des festgebundenen oder festgehaltenen Kaninchens wird mit der linken Hand genau fixirt und dann das Tuberculum occipitale (*Ta* Fig. 4 und 5 Taf. XXVI [1]) aufgesucht. Gleich hinter diesem Tuberculum wird das eben erwähnte Instrument eingestossen (Fig. 5 auf Taf. XX zeigt die Einstichstelle). Sobald man in die Schädelhöhle eingedrungen ist, wird das Instrument schief von hinten oben hinten nach vorne unten gerichtet, so dass es die Verbindungslinie der beiden Gehörgänge kreuzt. Indem die Spitze des Instruments weiter vordringt, durchsticht sie das Kleinhirn und die hinteren und mittleren Schichten des verlängerten Markes. Die Spitze dringt bis zum Os basilare vor, während die Schneide des Instruments nicht weiter als diese mittlere Schicht reicht. Fig. 1 auf Taf. XXXV zeigt nach Cl. Bernard den von dem Instrumente innerhalb der Schädelhöhle durchlaufenen Weg. Das Instrument ist *f*; *a* das Kleinhirn; *b* der Ursprung des Facialis; *c* das Rückenmark; *d* der Ursprung des Vagus; *e* die Eintrittsstelle des Instruments; *g* der Trigeminus; *h* der Gehörgang; *k* Sinus venosus occipit.; *l* Corp. quadrigem.; *m* das Gehirn; *n* Durchschnitt des Atlas. Die auch Cl. Bernard entnommene Fig. 5 derselben Tafel zeigt den vierten Ventrikel des Kaninchens. Das Kleinhirn ist in der Mitte durchschnitten und seine beiden Hälften zur Seite geschlagen. Man sieht die beiden runden Wenzel'schen Körper (Ursprünge des Acusticus), den Boden des vierten Ventrikels, den Calamus scriptorius und die Ursprünge des N. vagus. Zur Vollständigkeit sollen hier noch die beiden, Eckhard entnommenen Ansichten des Kleinhirns beim Kaninchen (Fig. 3 und 4 derselben Tafel) erwähnt werden. *A* entspricht nach Krause dem Flocculus; Eckhard bezeichnet es als Lobus post. während er *B* für den Flocculus hält; β ist ein Wulst (der zweite) des Wurms, *C* und *C'* sind zwei Lappen des Kleinhirns und *D* seine Hemisphären.

Eine bis zwei Stunden nach der beschriebenen Piqûre kann man beim Kaninchen im Harne schon die Anwesenheit des Zuckers mit Hilfe der Fehling'schen Lösung nachweisen.

Die Piqûre in dem Boden des vierten Ventrikels kann auch nach Abtragung der Membrana obturatoria, bei blossgelegter Medulla, also ohne Mitverletzung des Kleinhirns ausgeführt werden. Cl. Bernard legt zu diesem Zweck die Membrana obturatoria bloss, indem er die Muskeln des Nackens auf die im zweiten Cap. Seite 195 u. f. beschriebene Weise auseinander zieht, ohne sie zu durchschneiden.

Eckhard, der es bei der Piqûre überhaupt vorzieht, am blossgelegten vierten Ventrikel zu operiren, benutzt zur Präparation der Membrana obturatoria das auch in demselben Cap. Seite 196 beschriebene Verfahren.

Während Cl. Bernard durch directe Versuche sich überzeugt hat, dass alleinige Verletzung des Kleinhirns keinen Diabetes verursacht, giebt Eckhard an, dass man beim Kaninchen ganz ausgesprochenen Diabetes mit Hydrurie erhält, wenn man ausgiebige Verletzungen am hinteren Theile des Wurms des Kleinhirns anbringt.

Zum Gelingen der Piqûre bedarf es jedenfalls keiner sehr begrenzten Verletzung am Boden des vierten Ventrikels, in der Nähe des Ursprunges der Vagi. Ein Stich unterhalb des verlängerten Marks, in den höher gelegenen Theilen des

1) *Ti* ist die Protuberantia occipit. ext.; *Di* das Tuberculum interparietale.

Cervicalmarks (man macht den Stich mit dem Bernard'schen Instrument, ohne die Wirbelsäule blosszulegen) erzeugt Diabetes, wenn er auch hier nicht immer von einer Hydrurie begleitet und weniger anhaltend als beim Stich in den vierten Ventrikel ist.

Von den Verletzungen peripherer Nervenpartien, welche im Stande sind Diabetes ohne Hydrurie zu verursachen, ist in erster Linie das letzte Cervicalganglion hervorzuheben (Eckhard). Exstirpationen dieses Ganglions, oder Durchschneidungen seiner sämmtlichen Nervenverbindungen, ja sogar die alleinige Durchschneidung seiner beiden Zweige, welche den Annulus Vieussenii bilden (siehe Seite 174) erzeugen sowohl bei Hunden als bei Kaninchen einen ganz ausgesprochenen Diabetes (E. Cyon und Aladoff).

Die Operationsweisen an diesem Ganglion und seinen Nerven sind schon im zweiten Capitel ausführlich behandelt worden. Dort finden sich auch die Verfahren zur Durchschneidung des Grenzstranges und der Nn. splanchnici, Operationen, die beim Studium des Diabetes mit in Betracht kommen. Hier noch die Angabe, wie der N. vagus in der Brusthöhle subcutan zu durchschneiden ist.

Zu diesem Ende macht Cl. Bernard bei einem kleinen chloroformirten Hunde einen Hautschnitt von etwa 2—3 Centimeter parallel der linken zwölften Rippe und verschiebt darauf die Haut in der Weise, dass durch die Wunde der neunte Intercostolraum, etwa in der Mitte zwischen dem Sternum und der Wirbelsäule, erscheint. Durch einen kleinen Schnitt in diesen Intercostalraum wird der Zeigefinger der linken Hand in die Thoraxhöhle hineingeführt. Man muss dabei den Eintritt der Luft durch die Kleinheit der Wunde und durch bohrende Bewegung des Fingers in den Intercostalmuskeln zu verhindern suchen.

Der Finger wird bis zur Aorta vorgeschoben, die man leicht an den Pulsationen erkennt. Etwas nach innen werden der Oesophagus und an seiner Seite die beiden Vagi aufgesucht, welche sich als gespannte Stränge durchfühlen lassen. Darauf wird mit der rechten Hand in die Wunde ein hakenförmig gebogenes Instrument, das auf dem concaven Rande mit einer Schneide versehen ist, eingeführt. Von dem in der Brusthöhle liegenden Finger geleitet, wird dieser Haken vorsichtig unter die Vagi geführt, und nachdem man sich überzeugt hat, dass weder die Aorta noch die V. cava in den Bereich der Schneide gelangen können, werden diese Nerven durchschnitten. Der Haken wird dann auf demselben Wege aus der Wunde herausgeholt; letztere wird durch das Zusammenklappen der Muskelränder sowie durch die Verschiebung der Haut in einer Weise geschlossen, dass keine Luft in die Thoraxhöhle dringen kann.

Das Verfahren von Cl. Bernard, um den Grenzstrang in der Thoraxhöhle zu durchschneiden, ist dem eben beschriebenen ähnlich. Der Schnitt zur Einführung des Fingers wird nahe der Wirbelsäule unterhalb der letzten Rippe gemacht. Der Haken wird mit dem stumpfen convexen Rande vorgeschoben, bis er an die Wirbelkörper anstösst. Dann wird er mit der scharfen Seite dem Rücken zugewendet und aus der Wunde herausgezogen, wobei seine Schneide Alles durchtrennt, was der Haken ergriffen hat. Die Aorta wird nicht selten bei dieser nur bei Hunden mit Erfolg auszuführenden Operation mit verletzt. [1])

1) Um das Ggl. cervicale sup. beim Hunde zu extirpiren, verfährt Cl. Bernard folgen-

Versuche über Diabetes müssen an unvergifteten Thieren angestellt werden, da die meisten zur Narkose benutzten Gifte (Chloroform, Chloral etc.) schon an sich Diabetes erzeugen. Dasselbe gilt in noch höherem Grade vom Curare. Um den Einfluss der Diabetes erzeugenden Fasern des Ggl. cerv. inf. auf die Blutcirculation in der Leber zu beobachten, wird eine T-förmige Canüle in die Art. hepatica eingesetzt und mit einem Manometer verbunden. Die Auffindung dieses Gefässes geschieht nach den für die Aufsuchung des Ductus choledochus gegebenen Regeln (siehe Cap. IV §. II).

Die Präparation und Reizung der Zweige des Annulus Vieussenii geschehen in derselben Weise wie die der Nn. accelerantes. Die Hunde können für diese Versuche selbstverständlich mit Curare vergiftet werden; dies erleichtert in hohem Grade sowohl die Einsetzung der Canüle in die Art. hepatica als die anderen Manipulationen, die für diesen Versuch erforderlich sind.

Die Aufsammlung des Harns zur Prüfung auf den Zuckergehalt geschieht nach den in Cap. IV §. III gegebenen Regeln, entweder durch Einführung einer Röhre in die Ureteren, oder durch Katheterisiren von der Urethra aus.

---

dermaassen: Durch einen T-förmigen Hautschnitt, dessen horizontaler Schenkel unterhalb des äusseren Gehörganges, dessen verticaler dem hinteren Rande des M. sternomastoideus entlang geht, wird der untere Rand der Gl. parotis aufgesucht. Dieser Rand wird sammt der V. jugularis nach vorne gezogen. Der vordere Rand des M. splenius wird nach hinten gezogen, und in der Tiefe der Wunde der hintere Bauch des Digastricus aufgesucht, dessen Ansatz dicht am Knochen vorsichtig durchtrennt wird. Unterhalb des Muskels sieht man die Gefässe des Halses und den N. hypoglossus, unter dessen Ansa das Ggl. cerv. sup. sich befindet, welches nun leicht ausgeschnitten wird. (Leichter ist dieses Ganglion durch eine Wunde aufzusuchen, wie wir es im §. II dieses Capitels für die Ausreissung des Acc. Willisii angegeben haben.) Zur Ausreissung des Ganglion thoracicum primum wird von Bernard beim Hunde ein Schnitt oberhalb der nach unten gezogenen Scapula gemacht. Der M. serratus major wird aufgesucht und seine Insertion an die erste Rippe abgetrennt. Im ersten Intercostalraum werden dann die Muskeln durchtrennt, und während ein Gehilfe die beiden Rippen auseinanderhält, wird das Ggl. stellatum auf einen Haken genommen und ausgerissen. Diese Operation ist mit Lufteintritt in die Thoraxhöhle verbunden. Das Thier geht an Pleuritis einige Tage nach der Operation zu Grunde.

(Siehe das von uns für die Exstirpation und Präparation dieses Ganglions benutzte Verfahren. Cap. II Seite 195.)

Bibliographie zu Capitel VI.

§. I und II Flourens: Recherches expérimentales s. les Proprietés, et les Fontions du Syst. nerveux. Paris 1842.

C. Legallois: Oeuvres. Paris 1830.

Magendie: Leç. sur l. Syst. nerveux. Paris Journal. d. phys. exp. 1824. T. IV.

Cl. Bernard: Leçons s. l. Syst. nerveux. Paris 1858.

Longet: Anat. et Phys. du Syst. nerveux. Paris 1839.

— — Traité d. physiologie. Paris 1869. 3. Bd.

Schiff: Muskel- und Nervenphysiologie. Lahr 1858—59.

— — Leçons s. la digestion. Berlin 1869.

— — Lezioni di Fisiologia sperim. sul. sist. nerv. encef. Firenze 1874.

Volkmann: Nervensystem. Wagners's Handwörterbuch d. Physiologie. 2. Bd.

Valentin: Grundriss d. Physiologie. 1844.

Krause: Anatomie d. Kaninchens. Leipzig 1868.

Eckhard: Physiologie d. Nervensystems. Giessen 1867.

Nothnagel: Virchow's Arch. Bd. 57.

G. Fritsch und Hitzig: Arch. von Reichert und du Bois-Reymond. 1870.

Hitzig: Untersuchungen über das Gehirn. Berlin 1874.

Ferrier: Researches on cerebral physiology etc. The West Riding lunatic asylum. Med. Rep. 1873. Vol. III.

Hermann: Pflüger's Arch. 1875.

Vulpian: Leçons s. l. phys. d. Syst. nerveux. Paris 1866.

E. Cyon: Eine paradoxe Thätigkeitsäusserung etc. Bull. d. l'Acad. d. Sc. d. St. Pétersbourg. 1871.

— — Ueber den Einfluss der hinteren Wurzeln etc. Sächsische Berichte 1865.

§ III. Cl. Bernard: l. c.

Longet: l. c.

Schiff: l. c.

Brown-Séquard: Course of lectures on the physiology etc. Philadelphia 1860.

Türck: Zeitschrift d. Ges. d. Aerzte zu Wien. 1850.

Sanders-Ezn: Onderzoekingen etc. Groeningen 1867.

Miescher:
Dittmar:
Nawrocki:
Woroschiloff:
} Arbeiten aus d. physiol. Anst. zu Leipzig 1870—74.

Aladoff: Bull. d. l'Ac. d. Sc. d. St. Pétersbourg 1870.

Fick und Engelken: Arch. von Reichert und du Bois-Reymond 1869.

Vulpian: l. c.

§. IV. Fick: Pflüger's Arch. 1873.

Meihuizen: Ibidem 1873.

Türck: l. c.

Sanders-Ezn: Arb. aus d. physiol. Anst. z. Leipzig 1867.

W. Baxt: Ibid. 1871.

Setschenow: Ueber chemische und elektrische etc. Gratz 1868.

Wundt: Physiologische Psychologie. Leipzig 1874.

Pflüger: Untersuch. aus d. phys. Anst. z. Bonn. Berlin 1865. Seite 155.

W. Stirling: Ueber die Summation elektrischer Hautreize. Arb. aus d. phys. Anst. zu Leipzig. 1874.

Goltz: Unters. über d. Cent.-Nervens. Berlin 1869.

E. Cyon: Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit etc. Mélanges. biologiques etc. 1873.

— — Zur Theorie etc. Beitr. z. An. u. Phys. Ludwig's Jubelband. Leipzig 1875.

Setschenow: Pflüger's Arch. 1875.

— — Ueber die Hemmungsmechanismen etc. Berlin 1863.

Herzen: Sur les Centres modérateurs etc. Turin 1864.
§. V Flourens: l. c.
Böttcher: Arch. f. Ohrenheilkunde v. Tröltsch. Bd. 9.
E. Cyon (Solucha): Pflüger's Archiv 1873.
Mach: Grundlinien d. Lehre v. d. Bewegungsempfindungen. Leipzig 1875.
Breuer: Jahrb. d. Ges. d. Aerzte in Wien. 1873—1874.
Crum-Browne: Journal of Anat. and Phys. Vol. VIII.
S. Exner: Wiener Sitzungsberichte. 1874.
Bloch: Dissertation. Petersburg 1872 (russisch.)
Bornhardt: Centralblatt f. med. Wiss. 1875. Dissert. Petersburg 1875 (russisch.)
§. VI. Cl. Bernard: Leçons s. la phys. expérim. Paris 1855.
— — Leçons s. l. syst. nerveux. Paris 1858.
Schiff: l. c.
Adrian: Eckhard's Beiträge z. Anat. und Phys. Bd. III.
Lamansky: Henle und Pfeufer's Zeitschrift. 3. Reihe. XXVIII. Bd.
Eckhard: Wien. Sitzungsb. 1862. Beiträge zur Anat. und Phys. III. Centralbl. f. med. Wiss. 1868.
— — Beiträge z. An. u. Phys. V, VI und VII.
Loeb: Beitr. z. Bewegung der Samenleiter etc. Giessen 1871.
E. Cyon (Scherschewsky): Pflüger's Arch. 1873.
E. Cyon und Aladoff: Bull. d. l'Ac. d. Sc. d. St. Pétersbourg. 1871.

Nachtrag zu Cap. II §. VIII.

Auf Taf. LIII Fig. 2 und 3 ist die neueste, sehr zweckmässige Einrichtung abgebildet, welche das Manometer für Froschherzen jüngst im Laboratorium von Ludwig erhalten hat. Fig. 2 zeigt die von Kronecker[1]) angegebene Herzcanüle aus Neusilber. Dieselbe wird gebraucht, wenn das Herz mit dem Manometer auf ähnliche Weise wie bei den Versuchen von Luciani verbunden wird. Diese Canüle wird auf die im betreffenden Paragraphen schon beschriebene Weise durch die V. cava bis zur gewünschten Tiefe in den Vorhof, oder durch denselben in den Ventrikel hineingeschoben und mit Fäden befestigt. Die bei *b'* sichtbaren Erhebungen gestatten, die Vorhöfe auf gewünschter Höhe abzubinden.

Die beiden Schenkel *a* und *b* dieser Canüle werden auf die beiden Glasröhren *p*, *p* mittelst Kautschukröhren aufgesetzt (Fig. 3). Diese Glasröhren sind an T-förmige Glashähne *e* und *f* angeschmolzen, von denen *f* mit dem feinen Glasmanometer *h*, und *e* mit der Röhre *k* communicirt, die frei nach aussen mündet und durch Kautschukrohr und Klemme abgeschlossen werden kann.

Die beiden Hähne *e* und *f* stehen durch zwei obere Glasschenkel mit einem dritten ebenfalls T-förmig durchbohrten Glashahn *d* in Verbindung. Dieser letztere Hahn communicirt einerseits durch einen Querfortsatz und die Kautschukröhre *c* mit der graduirten Mariotte'schen Flasche *a*, andererseits mündet er frei nach aussen durch einen oberen Ansatz. Durch ein Kautschukröhrchen und einen Glasstöpsel wird diese Mündung in der bekannten Weise geschlossen. Das Hahnsystem ist von Bowditch angegeben worden.

Der Schwimmer besteht aus einem fein ausgezogenen Glasfaden, der einerseits mit einem auf dem Quecksilber ruhenden Kügelchen, andererseits mit einer knieförmig gebogenen Spitze *i* endet, die auf berusstem Cylinder zu schreiben bestimmt ist. Das Glas- oder Metallhütchen *g* dient zur Führung dieses Schwimmers (siehe Cap. II §. VIII).

Der an der Canüle angebrachte Fortsatz *c* (Fig. 2) dient als Elektrode, wenn das Herz elektrischen Reizen ausgesetzt wird. Er wird dann durch eine Klemme mit dem einen Drahtende (*n*) des Stromkreises verbunden, während das andere Ende (*m*) in die auf der Zeichnung sichtbare, manometerartig gebogene Röhre *B* eingeschoben wird. Diese Röhre trägt an ihrem kurzen Schenkel das auf der Zeichnung sichtbare Gefäss, welches, mit Serum gefüllt, das Herz umgiebt und es vor Vertrocknen schützt.

---

1) Beitr. z. An. u. Phys. C. Ludwig gewidmet v. seinen Schülern. Leipzig 1875.

Die übrigen auf der Zeichnung sichtbaren Einrichtungen: der Arm *AA* sowie der Stab *b*, dienen zur bequemen Fixirung des ganzen Apparates an einem gewöhnlichen Stativ.

Alle die im betreffenden Paragraphen (VIII) beschriebenen Versuche lassen sich mit Hilfe dieses Apparates in der vollkommensten und bequemsten Weise anstellen.

Nach den dort angegebenen Regeln bedarf wohl die Anwendungsweise dieses Manometers keiner besonderen Beschreibung. Es genügt, nur auf zwei durch diesen Apparat besonders leicht zu erzielende Versuchszwecke hinzuweisen. Der erste ist die mit Hilfe der Hahnvorrichtungen leicht ausführbare Durchwaschung des Herzens mit verschiedenen Flüssigkeiten. Durch eine einfache Verstellung der Hähne und Oeffnung der sonst durch Kautschukröhren und Klemmen verschlossenen Abflussröhren kann in der kürzesten Zeit die den ganzen Apparat sammt Herz füllende Flüssigkeit entfernt und von dem Gefäss *a* aus durch eine andere Flüssigkeit ersetzt werden.

Der zweite Zweck, den diese Einrichtung zu erreichen gestattet, ist eine schonende und bequeme Zuleitung elektrischer Ströme zum Herzmuskel. Die folgerungsreichen Untersuchungen von Kronecker und Stirling über die Reizbarkeit des Herzens sind mit Hilfe dieses Apparates ausgeführt worden.

Die früher von Luciani benutzte Ventilvorrichtung in der Mariotte'schen Flasche (s. Seite 140) ist jetzt als unzweckmässig fortgelassen worden. Ebenso hat sich der von Bowditch angewendete elektrische Hahn entbehrlich erwiesen. Wollte man, mit der neuen Einrichtung Versuche über das nicht ganz abgebundene Herz anstellen, so brauchte man nur die Kronecker'sche Canüle wegzulassen und statt ihrer zwei in die eine Aorta und die V. cava inf. eingebundene Canülen mit dem Glasröhrchen *p*, *p* in derselben Weise, wie ich es bei meinen Versuchen an dem oben beschriebenen Apparate (Seite 137 u. f.) zu thun pflegte, zu verbinden.

Um das Herz auf verschiedene Temperaturen zu bringen, genügt es, einen mit Wasser von beliebiger Temperatur gefüllten Behälter unter dem Serumgefäss *B* so anzubringen, dass dieses bis nahe seinem oberen Rande in jenen taucht. An dem neuesten Modelle des completen Froschherzapparates findet sich auch das Wasserbad nebst Thermometer.

Nachtrag zu Cap. II §. IX.

Eine ganz vorzügliche Einrichtung, welche es gestattet, die Veränderungen in der Füllung der Blutgefässe irgend eines beliebigen Körpertheils mit Genauigkeit zu verfolgen, ist auf Taf. LIV Fig. 2 abgebildet.[1])

Dieser von Mosso herrührende Plethysmograph (πληθυσμός, abgeleitet

1) Ich verdanke die Zeichnung und die genaue Beschreibung dieses Apparates der Liebenswürdigkeit des Dr. Mosso. Bei Gelegenheit seines Vortrages in der physiologischen Gesellschaft zu Leipzig hatte ich Gelegenheit, mich von seiner vorzüglichen Wirkungsweise zu überzeugen. Eine genaue Beschreibung dieses Apparates, welcher auch für klinische und pharmakologische Untersuchungen von grossem Nutzen sein kann, wird nächstens von Mosso anderweitig gegeben werden.

von πληθύνω = füllen, vermehren) beruht auf demselben Principe, wie der schon in Paragraph VIII beschriebene Chelius-Fick'sche Apparat. Ganz vorzüglich und ihm eigen ist die genaue und sinnreiche Art, die Schwankungen der Blutfülle zu verzeichnen, die Mosso schon bei Gelegenheit seiner Untersuchungen über den Kreislauf der Nieren (Arbeiten aus der physiolog. Anstalt zu Leipzig 1874 Seite 305) mit Erfolg angewendet hat.

Der Apparat besteht hauptsächlich aus zwei Theilen. Der erste ist ein gläserner Cylinder *AB*, der den ganzen Vorderarm bis über den Ellbogen enthält und mit Wasser in der Weise gefüllt ist, dass diese Flüssigkeit nur durch eine Oeffnung *E* heraus oder hinein fliessen kann, je nachdem das Volum grösser oder kleiner wird.

Der zweite Theil ist eine Art von hydrostatischer Wage, mit der man unter einem beliebigen constanten Druck die Flüssigkeit, die in oder aus dem Cylinder *AB* fliesst, messen und auf eine rotirende Trommel schreiben kann. — Der Cylinder *AB* ist nur auf der einen Seite offen, um dort den Arm einführen zu können. Ein Kautschukring, der schon auf dem äusseren Rande dieser Seite festgebunden ist, schliesst luftdicht, ohne einen störenden Druck auf die Haut des Armes auszuüben. Durch zwei Oeffnungen *C* und *D* kann man den Cylinder mit lauem Wasser füllen, nachdem der Arm eingeführt worden ist. Die eine wird mit einem Stöpsel verschlossen; durch welchen ein Manometer gesteckt wird, die andere mit einem einfachen Kautschukpfropf. In dem Falle, dass elecktrische Reizung angewendet wird, werden die Elektroden und die nöthigen Einrichtungen zur Isolirung durch diese zwei Oeffnungen eingeführt.

Um zu vermeiden, dass durch kleine Bewegungen des Armes oder des ganzen Körpers der Vorderarm in oder aus der Röhre bewegt wird, wodurch Störungen in der Messung des Volumens sich ereignen würden, liegt der Cylinder *A B* auf einem hölzernen Brettchen, das durch ein Seil an der Zimmerdecke hängt. Durch diese einfache Vorrichtung wird man vor allen unwillkürlichen Bewegungen des Körpers geschützt, der Vorderarm ist vollkommen frei, und man kann mit dem Arme auch ziemlich grosse Bewegungen machen, ohne dass auch nur einige Tropfen Wasser aus dem Cylinder heraus oder hinein fliessen. Ein Gestell unterstützt den Arm und verhindert jede seitliche Bewegung desselben.

Der zweite Theil des Plethysmographen besteht aus einem sehr dünnwandigen (ungefähr 180 Millimeter langen und 16 Millimeter im Durchmesser haltenden) Probirgläschen *M*, das an zwei Seidenfäden hängt. Die zwei Fäden laufen über eine doppelte Rolle *L* und tragen als Gegengewicht ein Stück Blei und eine Glasfeder *N*, wie sie zum Schreiben auf das Kymographion dient.

Die Röhre *FG* leitet aus dem Cylinder *AB* das verdrängte Wasser in das Probirgläschen *M*: der Art, dass der absteigende Röhrenschenkel, dessen Mündung sich im Niveau der Einflussöffnung befand, den Auf- und Niedergang des Probirgläschens innerhalb der hier in Betracht kommenden Grenzen nicht hindert. Ein grosses Becherglas *P*, welches mit einer Mischung von Alkohol und Wasser gefüllt ist, wird so gestellt, dass das Probirgläschen in ihn hineinsinken kann und seine Flüssigkeit *ab* in gleicher Höhe mit der Oeffnung *F* steht.

Bei Beginn jedes Versuches wird das Probirgläschen *M* so hoch gezogen, dass es die Oberfläche des Wassers gerade berührt und der verticale Schenkel des

Rohres *FG*, welcher das aus dem gläsernen Cylinder *AB* verdrängte Wasser in das Probirgläschen leitet, nahe über dem Boden desselben, aber wenig unter dem Wasserniveau des Becherglases festgehalten wird. Wenn wir annehmen, dass das untere Becherglas auch mit Wasser gefüllt wäre, ist es leicht verständlich, dass sich mit der Füllung der Gefässe und mit der Volumenvermehrung des Vorderarmes eine entsprechende Menge von Wasser in das Probirgläschen begiebt, dass dieses aber in das mit Wasser gefüllte Becherglas so weit herabsinkt, bis es ein seinem Inhalt entsprechendes Quantum Wasser verdrängt hat. — Wenn sich der Vorderarm wieder verkleinert, wird Wasser angesaugt, und das erleichterte Probirgläschen steigt nach oben. — Stellen wir uns ein Glasrohr mit gewichtlosen Wänden vor, und ferner, dass das mit Wasser gefüllte Becherglas gross genug sei, um bei so kleiner Aenderung des Volumens der in ihm enthaltenen Flüssigkeit, wie sie durch den eintauchenden Cylinder erzeugt wird, keine Niveauänderung merken zu lassen, so würde solcher Cylinder beliebig in die Höhe steigen oder abwärts gehen können, ohne dass eine Niveau-Aenderung des Wassers im Becherglase, innerhalb und ausserhalb des Glascylinders erfolgte. Da aber unser Hohlcylinder nicht von gewichtlosen Wänden umschlossen wird, so folgt daraus, dass er durch sein Eintauchen in Wasser auch so viel an Gewicht verlieren wird, als ein gleich voluminöser Cylinder wiegt, dessen Wände aus Wasser bestehen.

Diese Verminderung des Gewichtes auf der einen Seite wird natürlich das vorher vorhandene Gleichgewicht stören: in Folge dessen muss das leichter gewordene Probirgläschen seine Einbusse durch einen Wassergehalt ausgleichen, mit anderen Worten, es sinkt dasselbe nicht so tief ein, bis das Niveau des Wassers in ihm und im Becherglas auf gleicher Höhe liegt, sondern nur so lange, bis das Gewicht der Wasserschicht, die in seinem Innern über das Becherglas hervorragt, gleich dem Gewichtsverlust ist, den seine Wand durch das Eintauchen erlitten hat.

Um diesen Unterschied im Niveau zu vermeiden, welcher im Maximum die Grösse von 2 oder 3 Centim. erreichen kann, hat Dr. Mosso das Becherglas mit einer Mischung von Alkohol und Wasser gefüllt.

Nehmen wir den Fall an, dass in das Probirgläschen durch eine Vermehrung des Volumens des Armes eine bestimmte Menge von Wasser fliesst, so wird, weil die Flüssigkeit in dem Becherglas leichter als das Wasser ist, das Probirgläschen ein grösseres Volum von dieser verdrängen, und das innere Niveau des Wassers sinkt unter das äussere Niveau *ab* der Flüssigkeit in dem Becherglase. Das Probirgläschen wird aber durch sein Eintauchen immer, leichter und es entsteht durch diese sinkende Bewegung ein entgegengesetzter Zug, der das Niveau des in dem Probirgläschen enthaltenen Wassers über das äussere Niveau *ab* der Flüssigkeit des Becherglases zu bringen sucht. Wenn diese gewissermaassen entgegengesetzten Kräfte gleich sind und sich gegen einander aufheben, muss das innere Niveau constant in der Ebene *a b* bleiben, trotz aller auf- oder absteigenden Bewegungen des Probirgläschen.

Um diese Compensation zu erreichen, wird erstens das Probirgläschen durch das Gleichgewicht *N* äquilibrirt, mit Wasser bis zum Rande gefüllt und darauf wird so viel Wasser und Alkohol in das Becherglas hineingegossen, bis das äussere und innere Niveau in derselben Ebene *a b* bleiben.

Das Probirgläschen *M* ist calibrirt, so dass man, auch ohne zu schreiben, die Veränderungen des Volumens ablesen kann.

Wenn das mittlere Volumen des untersuchten Armes dauernd so stark zugenommen hat, dass das Reagenzglas *M* die ausgetretene Flüssigkeit nicht mehr fassen kann, so dient die Bürette *H*, um durch das Rohr *C* den Ueberfluss aufzunehmen und zu messen. Man hat sie nur tiefer als das Niveau *a b* zu stellen, um die Flüssigkeit aus *M* nach *H* heben zu lassen, sobald der Quetschhahn *l* geöffnet wird, nachdem das Rohr *F* geöffnet worden ist. Umgekehrt kann man aus dessen höher gestellter Bürette *H* das Probirgläschen *M* füllen, wenn es nach *A B* hin ausgesaugt zu werden droht.

Besonders dient dieses Reservoir zur Regulirung des Apparates im Anfange des Versuchs.

Sach-Register.

A.

Abblendung einzelner Inductionsschläge 373.
Ablenkung, freiwillige 344.
Abducens n. 511.
Accelerantes nn. Präparation beim Kaninchen 173. beim Hunde 176. Anatomie 175. Versuche 180.
Accessorius Willisii n. Ausreissung 515.
Acusticus n. 513.
Adductor magnus M. *s.* Gracilis.
Ampèresche Regel 344.
Anapnograph 212.
Angiograph 162.
Annulus Vieussenii 172. 175.
Aorta, Compression 179.
Aperiodische Schwingungen 356.
Apnoe, Erzeugung 256.
Arbeitssammler 490.
Arteria renalis, Präparation 292. Versuche 293.
— *saphena* 199.
— *submaxillaris*, Präparation 267.
Astasie 342.
Athmung künstliche 59. Canülen 60. Apparate 63. Ventile 61. Ausführung 65. Einfluss auf Circulation 201. graphische Aufzeichnung 208.
Athmungscentrum, Versuche 257.
Auriculares ant. u. post. nn. 199.
Auriculo-temporalis n. Präparation 272.

B.

Bausche, Zubereitung 386.
Belastung d. Muskels 430. 453. 474.
Beobachtung 4.
Bewegungsstörungen 539.
Blutdruck, Messung 100. mittlerer 114. Schwankungen 117. Curven 122. Abhängigkeit v. d. Respiration 201.
Blutgase, Gewinnung mittelst Pumpen 230, mittelst Kohlenoxyd 241. Analyse 244.
Blutgefässe, Präparation 40. Unterbindung 40. 42.
Blutgerinnsel, Entfernung 106. Apparate zur Vorbeugung 107.
Blutstrom, Geschwindigkeit 143.
Bogengänge, Operation 541.

C.

Canüle, Gefäss- 48. Ludwig'sche Gefäss- 48. Einführung 49. Athmungscanüle 60, für Stromuhren 148, für Magenfistel 276, für das Froschherz 555.
Capillarcontact 326. 328.
Cardiograph 94.
Cardiometer 102.
Cardioskop 96.
Carotis, Präparation 108.
Chloral, Wirkungen 55.
Chloroform, Wirkungen 53.
Chorda tympani. Lage 265. Präparation beim Hunde 266. bei Kaninchen 273. Reizung 269.
Chronograph 134. 442.
Contractionswelle 462.
Commutator s. Stromwender.
Compensation d. Ablenkung durch die Drahtmassen 346. b. Messung elektromotorischer Kräfte 362. 388.
Compensator 362. 389.
Cruralis 109.
Curare- Wirkungen 56.
Curcumapapier, Zubereitung 252.
Curven, Ausmessung 8. 122. 440. 449. Fixirung 436.
Cylinder, rotirender 7. 125. 427. Controle der Gleichmässigkeit 132.

D.

Darm-Naht 46. Fistelanlegung 278. Absonderung 280. Bewegungen 305.
Decrement, logarithmisches 357.
Depressor, Präparation 172, Versuche 180.

Diabetes 293. künstliche Erzeugung 551.
Doppelhebel, elektrischer 97.
Doppelwippe 331.
Dorsalis pedis n. Präparation 199.
Druckmesser s. Manometer.
Ductus choledochus 284.
Ductus Stenonianus, Präparation b. Hunde 270. b. Kaninchen 273.
Ductus thoracicus, Präparation 296.
Ductus Whartonianus, Präparation b. Hunde 266. b. Kaninchen 273.
Durchleitung 18. Apparate 19. 478. Ausführung 21.
Dyspnoe, Erzeugung und Versuche 254.

E.

Eigenschwingungen d. Manometers 111.
Einspritzung 50.
Elektroden für tiefliegende Nerven 178. 269. 308. 423. Unpolarisirbare 385, für oberflächlich gelegene Nerven 424, für Rückenmarkswurzeln 529.
Elektromotorische Kräfte, Messung 338. 362.
Elektrotonus, 395. 418. Secundärer 397.
Elemente, elektrische 316.
Enterograph 308.
Erigentes nn. 548.
Erregbarkeit, Prüfung 418, d. Muskeln 494.
Erregung v. Nerv und Muskel 414. Versuche 416. Abhängigkeit von Reizstärke 420.
Eudiometer 244. Kalibrirung 246. Füllung 247.

F.

Facialis n. 513.
Fallhammer, elektromagnetischer 319. 323.
Fallmyographion 441.
Federmanometer 120.
Federmygraphion 447.
Fisteln, Anlegung von 274.
Flacon laveur 220.
Flimmerbewegungen 310.
Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenerregung 427. 435. 450; der Contractionswelle 462.
Frosch. Aufbewahrung und Fütterung 28. Befestigung 32.
Froschherz, Bau 135. Verbindung mit Manometer 138. 141. Speisung 138. 555. Arbeit 143.
Froschhirn 506.
Froschpistole 425.
Froschschenkel, Musculatur 389. Stromprüfender 391.
Froschunterbrecher 403. 481.
Froschwecker 403.

G.

Gallenfistel 284.
Galvanisches Präparat 390.
Galvanometer s. Multiplicator.
Ganglion, cervicale inf. 172. Exstirpation 188. — stellatum s. thoracicum primum 172. Exstirpation 189. Präparation 189. Versuche 552. — submaxillare 265. Oticum 547. Sphenopalatinum 547. Coeliacum 547.
Gasometer 214.
Gaspumpen 232. v. Ludwig 232. v. Geissler 237. v. Alvergniat 239. v. Helmholtz 240.
Gasregulator 313.
Gastrocnemius M. Präparation 460.
Gaswechsel, Messung 217.
Gefässnerven 184. Wirkungen 187, reflectorische Erregung 198.
Gefässnerven-Centrum. Präparation u. Versuche 194.
Geschwindigkeit, Strömungs- 73, des Blutstroms 143, d. Speichelsecretion 269, d. Harnabsonderung 289.
Geschwindigkeitshöhe 73.
Gestell für Hunde 285.
Glandulae submaxillaris, sublingualis und parotis s. Speicheldrüsen.
Glasfeder von Boeck 458.
Glockenmagnet 358.
Glossopharyngeus n. 515.
Gracilis M. Präparation 392. 466.
Graduationsconstante 367.
Graphische Methode 5. Geschichte 7.
Grenouille-galvanoscopique, Präparation 391.
Grenzstrang, subcutane Durchschneidung 191. 553.
Grosshirnlappen, Abtragung 506.
Gyrotrop s. Stromwender.

H.

Haematographie 165.
Haemodromograph 147.
Haemodromometer 144.
Haemodynamometer 102. 163.
Haemometer 102.
Halbcirkelförmige Canäle, s. Bogengänge.
Harn. Absonderung 286. Sammlung 289.
Hauptleitung 415.
Hauy'scher Stab 353.
Haut. Schnittführung 39. Präparation 41. Gefässe 40. Naht 45.
Helmholtz'sche Einrichtung 371.
Herz. Arbeit 84. 143. Blosslegung bei Säugethieren 86, b. Fröschen und Schildkröten 89.

Form- und Ortsveränderungen 86. – Sonden von Chauveau und Marey 92. von Fick 94. Stoss 94.
Herzganglien 166.
Herzgifte, Tabelle 169.
Herzklappen 99.
Herznerven 171. Versuchsweisen 178. Vorlesungsversuche 179. reflectorische Erregung 183.
Herzschläge, Aufzeichnung 94. Zählungsmethoden 96.
Herztöne 99.
Hirnnerven, Operation 509.
Hund. Befestigung 34. Hundehalter 34.
Hypoglossus n. 516.
Hydraulik, Vorlesungsversuche 69. Apparate 70.

I.

Inductionsapparate 368. Graduirung 377. Anwendung 383.
Ischiadicus n. Präparation beim Säugethier 190. beim Frosch 395.

K.

Kaninchen- Halter 35.
Kleinhirn, Abtragung 540.
Klemmen, Gefäss- 50. Lothar Meyer'sche 235.
Knallgas- Entwicklung 249.
Kohlenoxyd- Darstellung 241.
Kohlensäure, Condensator 219. Titrirmethode 227. 230. 251.
Kohlensaures Natron, Lösung für Manometer 105.
Kymographion, einfaches 126, mit unendlichen Papierstreifen 127, mit Regulator von Foucault 129.
Kymolith 34.

L.

Laryngeus superior n. Präparation 171. 260.
— *inferior* n. Präparation 176. 260.
Lingualis n. Präparation 267.
Lymphe, Absonderung 293. Gewinnung 295.
Lymphgefässe, Einführung von Canülen 295. d. Hodens 298. d. Hinterpfote 300. d. Centrum tendineum 303. d. Aponeurosen 302. Injectionen 302.
Lymphsäcke 305.

M.

Magencanüle 276.
Magenfistel 274.
Manometer, Wasser- 71. Blut- 100. Quecksilber- 101. Einrichtungen 101. Feder- 101. Differential- 102. compensatoire 102. Füllung 104. Ansätze 105. Schwimmer 103. Hahn 103. Reinigung 106. Verbindung mit dem Blutgefäss 108. Theorie 110. Fehler 111. Prüfung 118. Eigenschwingungen 111. für Froschherzen 137. 555.
Medulla oblongata. Blosslegung 195.
Metronomunterbrecher 325.
Morphium, Wirkungen 55.
Multiplicator, Einrichtung 340. Aufstellung 346.
Musculatur des Froschschenkels s. Froschschenkel.
Muskelarbeit 473.
Muskelcurve 454. 459.
Muskelelasticität 465.
Muskelermüdung 476.
Muskelkraft 479.
Muskelreaction, Prüfung 491.
Muskelstarre 471.
Muskelton 492.
Muskelwärme 484.
Muskelzuckung 453.
Myographion mit rotirendem Cylinder 431. Atwood'sches 444. Pendel- 445. Feder- 447. Beurtheilung 455. für Menschen 452. 460. Doppel- 456.

N.

Nadelpaar, astatisches 342.
Naht, Haut- 45. Darm- 46.
Narkotisation 52.
Negative Schwankung s. Schwankung.
Nervenkreis 333. 415.
Nicotin, Vergiftung 309.
Niere, Exstirpation b. Hunde 286.
Nierengefässe s. Art. renales.
Nierennerven, Präparation 291.
Noeud vital s. Athmungscentrum.

O.

Occipitalis minor n. s. Auricularis post.
Oculomotorius n. 510.
Olfactorius n. 510.
Opium, Wirkungen 55.
Opticus n. 510.

P.

Pankreasfistel, temporäre 282, permanente 283.
Pansphygmograph 161.
Pedunculus cerebri, Durchschneidung 541.
Pendelcommutator 331.
Pendelmyographion 444.
Pendelunterbrecher 323.

Pengavar Djambi 503.
Peroneus n. 198.
Petrosus n. 514.
Phrenicus n. Präparation 259.
Phrenograph 208.
Pince électrique 424. myographique 460.
Pipettes à oxygène 220.
Piqûre 551.
Planimeter, Einrichtung 123. Anwendung 124.
Platinstiefel 395.
Plethysmograph 152. 557.
Plexus brachialis 189. lumbo-sacralis 190.
Pneumograph 210.
Pneumometrie 216.
Polarisation des Nerven s. Elektrotonus.
Präparation, allg. Regeln 39.
Pulskästchen 153.
Pulsirpumpe 242.
Pulsspiegel 164.

Q.

Quakversuch 539.
Quecksilber, Reinigung 109.

R.

Rectus int. mag. M. s. Gracilis.
Reflexbewegungen 531.
Reflexzeit 533.
Regulator von Foucault 129, von Villarceau 132. Elektro-magnetischer von Helmholtz 405.
Reizmarkirer 443.
Reizung unipolare 420, latente 429.
Reizwelle 412. 463.
Relais 382.
Residual air v. Hutchinson, Bestimmung 215.
Respirationsapparat v. Regnault u. Reiset 218. v. Scharling 223. v. Andral und Gavarret 222. v. Henneberg 224. von v. Pettenkofer u. Voit 224. v. Voit 227. v. Ludwig 228.
Respirationsversuche 230.
Rheochord, Draht- 334. Quecksilber- 336. Schwankungs- 416.
Rheoskop, physiologisches 394.
Rheostat, Universal- 337.
Rheotom, Differential- 408.
Röhren, hydraulische 71, elastische 78, Rüdinger'sche 100, Liebig'sche 223, Pettenkofer'sche Barytwasser- 226.
Rotationsapparat, elektromagnetischer 404.
Rückenmark, Blosslegung 520. Reizung 180. 523. Durchschneidung 524.

S.

Sartorius M. Präparation 399.
Sauerstoff, Bestimmung 250.
Schädelhöhle, Eröffnung 502.
Schema der Blutcirculation 79.
Schlittenelektromotor s. Inductionsapparate.
Schlittenvorrichtung f. Myographion 450.
Schlüssel, Vorreiber- 317. Quecksilber- 318. Fick'scher 321. Anwendung 422.
Schwankung, negative 397, bei Menschen 398, beim Frosche 399. Messung 402. Zeitlicher Ablauf 403. Doppelsinnige 403.
Schwankungsrheochord 416.
Schwingungsdauer des Magnets 357.
Sécateur 281.
Section, allg. Regeln 44.
Sensibilité récurrente 530.
Sinus venosus 135. 166. 181.
Sonden, Herz- 92.
Speculum cordis 100.
Speichel- Secretion 264. Drüsen 265. Fisteln 273. Gewinnung b. Menschen 274.
Spiegelbussole, Einrichtung 351. Einstellung 360. Benutzung 361.
Sphygmograph, Einrichtungen 156. Prüfung 158.
Sphygmometer 156. 164.
Sphygmoskop 147. 156. 163. Gas- 164.
Spirograph 212.
Spirometer 213.
Splanchnicus, Präparation 191. Versuche 193. 308. 532.
Stannius'scher Versuch 166.
Stenson'scher Versuch 472.
Stethoskop von König 94. 99.
Stimmgabelunterbrecher 327. 329. 443.
Strom- Geschwindigkeit 73. Widerstand 75. In elastischen Röhren 78, continuirlicher 71, unterbrochener 78.
Stromschliesser 317.
Stromuhr 147. Füllung 150. Canülen 148. Gebrauch 151.
Stromwender 329.
Sympathicus am Halse 172. Präparation 188. Versuche 188. 547. Trennung vom Vagus b. Hunde 268.

T.

Tachometer 145.
Tambour enrégistreur 91. 212.
Tangentenbussole s. Spiegelbussole.
Tangentengesetz 350.
Temperaturschwankungen 185.
Tetanus, Ritter'scher 419. Erzeugung 461.
Tetanomotor 425.

Thermoelemente 486.
Thermometer 185.
Thermomultiplicator 185. 485.
Thermosäule 487.
Thonplatten 387.
Thonstiefel 388.
Tibialis n. 198.
Tracheotomie. 66.
Träger, allgemeiner 394.
Trepanation des Schädels 504.
Tricepsgruppe, Präparation 478.
Trigeminus n., Durchschneidung 512.
Trochlearis n. 54.
Truncus cervicalis, Präparation 297.
— brachialis, Präparation 299.
Türck'sche Methode 534.

U.

Ueberlastung v. Muskeln 430. 453. 458.
Unipolare Reizung 420. Demonstration 421. Vorbeugung 422.
Universalgalvanometer 347.
Unpolarisirbare Elektroden 385.
Unterbrecher 317. akustischer 329. Halske'scher 368. Wagner'scher 368. Frommentscher 369. Frosch- 403.
Unterbrechungsuhr 133. 326.
Ureter, Präparation b. Hunde 289, b. Vögeln 290.
Uterusbewegungen 549.

V.

Vagus, Präparation beim Säugethiere 171. Verlauf und Präparation beim Frosche 181. Versuche 182. 261.
Vasomotoren s. Gefässnerven.
Vena jugularis externa, Präparation 267.
Vena, saphena magna u. parva 301.
— tibialis 301.
Ventile, Athmungs- 61. 226. 228. v. Müller 214.
Verdauungsofen 311.
Versuchs- Zweck 1.
Versuchsthiere, Wahl 23. Aufbewahrung 28. Fütterung 28. Befestigung 31. Narkositation 52.
Vertebralis ramus 173.
Vivisection 8. Arten 9. allgemeine Regeln 10.
Vorreiberschlüssel s. Schlüssel.

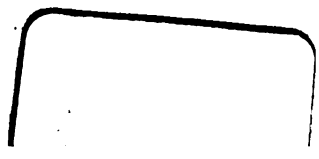
W.

Wanne, Bunsen'sche 247.
Wärmeentwickelung im Muskel 484.
Wassermenge- Bestimmung 224. 250.
Wasserstoff- Entwickelung 249.
Wellenbewegung in strömenden Flüssigkeiten 83. Fortpflanzungsgeschwindigkeit 83.
Wellenzeichner s. Sphygmograph.
Wheatstone'sche Brücke 338. 348.
Widerstand Strömungs- 75.
— in Ketten u. Leitern 349. Messer 338.
Wirbelsäule- Eröffnung 518.
Wurzeln d. Rückenmarks 527.

Z.

Zeitmarkirer, elektromagnetischer 133. 442.
Zeitmessung, elektrische 428. 464.
Zuckung, Aufzeichnung 453. 537.
Zuckungstelegraph 424.
Zuleitungsgefässe 385.

Druck von Hundertstund & Pries in Leipzig.

Berichtigungen.

Seite	40	Zeile	14	statt:	umliegende Zellgewebe	lies:	umliegendes Zellgewebe
„	40	„	35	„	selbst ein	„	selbst; ein
„	55	„	10	„	Herrmann	„	Hermann
„	57	„	40	„	durch Sinken	„	durch Steigen
„	59	„	28	„	Nach Schiff's	„	Nach Schiefer's
„	68	„	22	„	Schiff	„	Schiefer
„	73	Anm.,	3. Z.	v. u.	Geschwindigkeit	„	Geschwindigkeitshöhe
„	73	„	1. Z.	v. u.	in der Secunde	„	in der ersten Secunde
„	76	„			concentrirten	„	concentrischen
„	127	„	letzte	Zeile	regulirt	„	rotirt
„	206	Zeile	13	statt:	1869	„	1864
„	207	„	3	„	Steinmnau	„	Steinmann
„	239	2. Anm.			Hebelvorrichtung	„	Hebevorrichtung
„	240	Zeile	42	„	im Stande ist	„	im Stande sind
„	256	„	27	„	Larry	„	Lorry
„	258	„	8	„	Cap. IV.	„	Cap. VI
„	268	„	30	„	Vorderfläche	„	Volarfläche
„	271	„	18	„	der Flacon	„	den Flacon
„	272	„	2	„	dieses Factors	„	dieser Factoren
„	310	2. Anm.		„	sonst nirgends	„	schon von Cl. Bernard
„	330	Zeile	42	„	Taf. LIV	„	Taf. LIII
„	337	„	21	„	bei *a* und *c*	„	bei *b* und *c*
„	338	„	21	„	Fig. 3	„	Fig. 2
„	338	„	36	„	Galvanometers, dem	„	Galvanometers und dem
„	348	„	11	„	Platten II	„	Platten III
„	348	„	15	„	benutzt	„	besitzt
„	348	„	36	„	mit h_1	„	mit b_1
„	349	„	21	„	Nadel *i*	„	Nadel *l*
„	350	„	5	„	wird sie	„	wird es
„	350	„	10	„	Nadel *i*	„	Nadel *l*
„	352	„	21	„	dass eine	„	dass seine
„	379	„	40	„	Vistanz	„	Distanz
„	411	„	20	„	Asbreitung	„	Ausbeutung
„	440	„	22	„	in diesen Fällen	„	in den meisten Fällen
„	443	3. Anm.	2. Z.	v. u.	Zeitmarkirer	„	Reizmarkirer
„	459	Zeile	25	statt:	Drehung	„	Dehnung
„	508	„	44	„	Fritsche	„	Fritsch
„	521	„	28	„	die Muskeln	„	der Muskeln
„	529	„	28	„	zwischen ihnen	„	zwischen diese
„	531	u. folgende		„	Türk	„	Türck
„	535	Zeile	36	„	verkürzen	„	verlängern
„	536	„	33	„	Myographien	„	Myogramme
„	542	„	36	„	Nervenmusculatur	„	Nackenmusculatur